ESTUDO DA TRAÇÃO DE UM VEÍCULO DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA SUPERCONDUTORA: CONTRIBUIÇÃO À CERTIFICAÇÃO DO MAGLEV-COBRA

Laércio Simas Mattos

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia Elétrica.

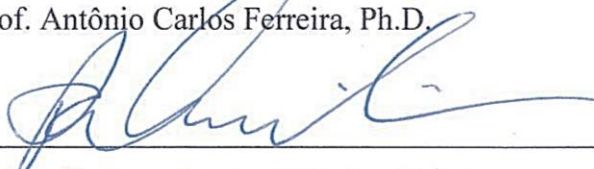
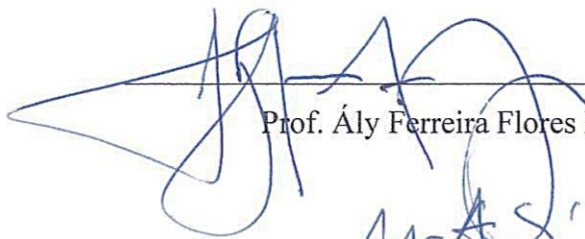
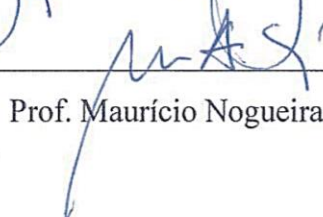
Orientador: Richard Magdalena Stephan

Rio de Janeiro
Junho de 2015

ESTUDO DA TRAÇÃO DE UM VEÍCULO DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA SUPERCONDUTORA: CONTRIBUIÇÃO À CERTIFICAÇÃO DO MAGLEV-COBRA

Laércio Simas Mattos

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Examinada por:

____
Prof. Richard Magdalena Stephan, Dr. -Ing.

____
Prof. Antônio Carlos Ferreira, Ph.D.

____
Prof. Paulo Cezar Martins Ribeiro, Ph.D.

____
Prof. Ály Ferreira Flores Filho, Ph.D.

____
Prof. Maurício Nogueira Frota, Ph.D.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

JUNHO DE 2015

Mattos, Laércio Simas

Estudo da Tração de Um Veículo de Levitação Magnética Supercondutora: Contribuição à Certificação Do MagLev-Cobra / Laércio Simas Mattos - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2015.

XIX, 233 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Richard Magdalena Stephan

Tese (doutorado) - UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Elétrica, 2015.

Referências Bibliográficas: p. 118-123.

1. Propulsão distribuída. 2. Motor Linear de Indução 3. *Automated People Mover*. I. Stephan, Richard Magdalena. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia Elétrica. III. Título.

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha esposa Maria Aparecida que me apoiou durante este tempo que me ausentei, fisicamente e em pensamentos, concentrando-me neste trabalho.

Aos meus filhos Marcos Paulo, Carlos Eduardo e Cristiane, por serem estes filhos maravilhosos e companheiros.

Aos meus irmãos Lucas, Marcelo e Zely filha. E principalmente a minha irmã Zaine que foi quem me ajudou com este texto.

A minha mãe Zely, zelosa e dedicada, que pegou na minha mão, incansavelmente, para tentar corrigir minha caligrafia, que embora não tenha obtido êxito nesta empreitada, me mostrou as outras faces do mundo do conhecimento escrito.

Dedico este trabalho, especialmente, a meu pai Laércio (in memoriam), que me apoiou no início deste trabalho, mas não poderá participar fisicamente do seu desfecho. Que mostrou a mim e a meus irmãos o valor dos estudos, sendo exemplo nas nossas vidas. Que depois de uma infância sem oportunidades, voltou a estudar na vida adulta, tendo que sustentar a família com muito suor, trabalho e amor.

"... se o nosso coração não nos condena, temos confiança para com Deus;"

1 João 3:21

Agradecimentos

Agradeço a meus pais, Zely e Laércio (in memoriam) pelo apoio em todo tempo.

Apresento meus agradecimentos à minha esposa Maria Aparecida e a meus filhos Marcos Paulo, Carlos Eduardo e Cristiane por serem companheiros e apoiadores desta empreitada.

Ao meu orientador Richard Magdalena Stephan a quem pretendo ter como espelho para as minhas tomadas de decisões futuras.

Aos meus colegas de DINTER, por minimizaram as dificuldades do deslocamento entre Minas Gerais e Rio de Janeiro e, também, pelos longos e produtivos debates ocorridos neste trajeto.

Aos colegas Roberto e Elkin que sempre me auxiliaram nas tarefas difíceis e ofereceram ajuda quando eu precisava.

Aos colegas do LABMAQ e LASUP com os quais aprendi muito durante estes anos.

Ao CEFET-MG e a CAPES pelo apoio financeiro.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D. Sc.)

ESTUDO DA TRAÇÃO DE UM VEÍCULO DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA SUPERCONDUTORA: CONTRIBUIÇÃO À CERTIFICAÇÃO DO MAGLEV-COBRA

Laércio Simas Mattos

Junho/2015

Orientador: Richard Magdalena Stephan

Programa: Engenharia Elétrica

Este trabalho inicia com a contextualização comparativa dos veículos de levitação magnética com os trens convencionais roda-trilho. Apresenta o veículo de Levitação Magnética Supercondutora MagLev-Cobra e suas particularidades. Introduz a teoria de Movimentador Automático de Pessoas (APM – *Automated People Mover*) e descreve a norma APM da Sociedade Americana de Engenheiros Civis (ASCE), que é usada como base para este trabalho. Os principais componentes do MagLev-Cobra são detalhados, dentre eles: os módulos e a característica de modularização, o Motor Linear de Indução (LIM – *Linear Induction Motor*), a topologia em "C" que auxilia na levitação, os criostatos utilizados na levitação, a linha de testes de duzentos metros de comprimento, os inversores de frequência utilizados na propulsão e o sistema de comunicação. O sensoriamento é tratado com especial atenção, pois, em veículos automáticos, ele se torna imprescindível, tanto por questões operacionais, quanto, principalmente, por questões de segurança. Simulações e ensaios relacionados à tração, movimentação e levitação do veículo são apresentados e constituem o núcleo central do trabalho, ao redor do qual orbitam os demais assuntos abordados. O conjunto dos conceitos teóricos, normas, simulações, ensaios e as partes físicas do veículo são analisados pela perspectiva de tornar o MagLev-Cobra um APM. Trata-se de um passo significativo para a certificação da linha de testes, tendo em consideração a abrangência da norma APM quanto aos aspectos de segurança de pessoas e equipamentos.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D. Sc.)

STUDY TRACTION OF A SUPERCONDUCTING MAGNETIC LEVITATION VEHICLE: CONTRIBUTION TO MAGLEV-COBRA CERTIFICATION

Laércio Simas Mattos

June/2015

Advisor: Richard Magdalena Stephan

Department: Electrical Engineering

This work initiates with a comparative contextualization of magnetically levitated vehicles with conventional wheel-rail trains. The Superconducting Magnetic Levitation vehicle MagLev-Cobra and its particularities are presented. The Automated People Mover (APM) theory is introduced and the APM standard of the American Society of Civil Engineers (ASCE), which is used as the basis for this work, is described. The main MagLev-Cobra components are detailed, among which: the modules and the modularity characteristics, the linear induction motor (LIM), the "C" topology which contributes to the levitation, the cryostats used in levitation , the test line of two hundred meters, the frequency inverters used in the propulsion and the communication system. The sensing is treated with special attention because, in automatic vehicles, it becomes essential, both for operational reasons and, mainly, for security reasons. Simulations and tests related to traction, displacement and levitation are presented and form the core of the work, around which orbit the other topics discussed. The combination of theoretical concepts, standards, simulations, tests and physical parts of the vehicle is analyzed from the perspective of making the MagLev-Cobra an APM. This is a significative step for the certification of the test line, since the APM standard is quite complete when it comes to safety of people and equipment.

Sumário

Lista de figuras

Lista de tabelas

Acrônimos

AMT	Tecnologia Americana MagLev, do inglês, *American MagLev Technology*.
APM	Movimentador Automático de pessoas, do inglês, *Automated People Mover.*
ASCE	Sociedade Americana de Engenheiros Civis, do inglês, *American Society of Civil Engineer*s.
ATC	Controle Automático do Trem, do inglês, *Automatic Train Control.*
ATO	Operação Automática do Trem, do inglês*, Automatic Train Operation.*
ATP	Proteção Automática do Trem, do inglês, *Automatic Train Protection.*
ATS	Supervisão Automática do Trem, do inglês, *Automatic Train Supervision.*
CT - I	Centro de Tecnologia I.
CT - II	Centro de Tecnologia II.
DLIM	Motor Linear de Indução de Face Dupla, do inglês, *Double-sided Linear Induction Motor*.
EDL	Levitação Eletrodinâmica, do inglês, *Electrodynamic Levitation*.
EDS	Suspenção Eletrodinâmica, do inglês, *Electrodynamic Suspension*.
EMC	Compatibilidade Eletromagnética, do inglês, *Electromagnetic Compatibility*.
EML	Levitação Eletromagnética, do inglês, *Electromagnetic Levitation.*
EMS	Suspensão Eletromagnética, do inglês, *Electromagnetic Suspension*.
HTS	Supercondutor de Alta Temperatura Crítica, do inglês, *High Temperature Superconductor*.
IHM	Interface Homem Máquina.
LASUP	Laboratório de Aplicações de Supercondutores.
LIM	Motor de Indução Linear, do inglês, *Linear Induction Motor.*
LTS	Supercondutor de Baixa Temperatura Crítica, do inglês, *Low Temperature Superconductor*.

MagLev Levitação Magnética, do inglês, *Magnetic Levitation*.

PLC Controlador Lógico Programável, do Inglês, *Programmable logic controller*.

SLIM Motor Linear de Indução de Face Única, do inglês, *Single-sided Linear Induction Motor*.

SML Levitação Magnética Supercondutora, do inglês, *Superconducting Magnetic Levitation*.

YBCO Sigla utilizada para a cerâmica $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$.

1 Introdução

Mais de 50% dos 7 bilhões de habitantes do mundo vivem atualmente em áreas urbanas. Em 2014, existiam 28 cidades com população superior a 10 milhões. Em 2030, este número provavelmente aumentará para 41 megacidades (UNITED NATIONS, 2014). Um grande desafio é oferecer transporte coletivo de qualidade para essas pessoas. A qualidade está vinculada a diversos aspectos, tais como ergonomia, trepidação, pontualidade, rapidez, segurança, etc. Além disso, é desejável que o transporte agregue serviços como automação, conectividade, comunicação, entre outros, classificados como ITS (*Intelligent Transportation Systems*). Vários congressos e conferências internacionais tratam do assunto, entre eles está a "*International Conference on Connected Vehicles and Expo*", cuja 3ª edição ocorreu em Viena, em novembro de 2014, e a "*Vehicular Technology Conference*", teve sua 81ª edição realizada em Glasgow, na Escócia, em maio de 2015. Dentre os principais assuntos, encontram-se a comunicação sem fio e a mobilidade. Alguns dos sistemas embarcados, como GPS, GPRS e internet, abrem possibilidades para veículos autônomos de transporte de pessoas, ou, *Automated People Movers* (APM).

Nesta tese serão tratados os aspectos particulares da propulsão do veículo de levitação magnética MagLev-Cobra como contribuição para torná-lo um APM.

1.1 Qualidades do veículo MagLev-Cobra e a necessidade de torná-lo um APM

O MagLev-Cobra é um veículo de levitação magnética baseado na levitação supercondutora e se aplica a transporte de passageiros em centros urbanos. Seu baixo peso aliado a sua capacidade de contornar obstáculos o torna uma alternativa viável em grandes centros. Para torná-lo mais eficiente quanto ao número de viagens e qualidade

das mesmas, propõe-se um rígido controle de métodos, processos e procedimentos seguros. As normas internacionais *Automated People Mover Standards* da *American Society of Civil Engineers* (ASCE, 2013a) são bastante rígidas e servem como parâmetro para automação de veículos de transporte de passageiros, garantindo conforto e segurança. As adequações do MagLev-Cobra a um APM serão baseadas nesta norma.

1.2 Motivação para este trabalho

Com o aumento mundial da frota de automóveis (no Brasil houve um crescimento de 192% entre janeiro de 2005 e dezembro de 2014 (DENATRAN, 2014)), cada vez mais se faz necessário o investimento em transportes públicos de qualidade e que minimizem a emissão de gases poluentes na atmosfera. Nas grandes cidades, o transporte público deve ser uma alternativa atraente para captar usuários que abram mão do conforto e comodidade de seus veículos particulares e passem a utilizar transportes “sustentáveis” do ponto de vista da qualidade de vida das cidades.

Os veículos de tração elétrica possuem grandes vantagens econômicas e ambientais quando comparados com os de propulsão a motor de combustão. Dentre elas a não emissão de CO_2 no local de utilização, menor geração de ruídos, menor risco de contaminação do solo por vazamento de combustíveis e lubrificantes, menor risco de explosão, etc. Os veículos de transporte de massa de tração elétrica, como alguns trens e os metrôs, já são bem difundidos no mundo. O metrô de *New York*, inaugurado em 27 de outubro de 1904, conta hoje com milhares de vias, estações e comboios (LOBENSTEIN, 2004).

Trens elétricos convencionais, embora sejam uma excelente alternativa para o transporte urbano, vem passando por alterações que visam sua melhoria, seja por acréscimo de novas tecnologias, seja por técnicas de otimização de operação. O trem de levitação magnética (MagLev) é um exemplo de nova tecnologia aplicada a trens elétricos, possuindo grandes vantagens sobre os convencionais, tais como (ZHENG, DENG, *et al.*, 2007; THORNTON, 2009):

- Grande capacidade de aceleração e frenagem, pois não necessita do atrito roda-

trilho para entrada em movimento e para redução de velocidade;

- Maior capacidade de superar aclives e declives por não necessitar de atrito para tracionar;

- Menor peso e volume que os trens/metrôs convencionais;

- Baixo ruído audível;

- Aplicação para diversas finalidades, distâncias e velocidades. A Tabela 1.1 exemplifica aplicações típicas para o veículo MagLev.

- A tecnologia APM pode ser implantada, pois já vem sendo testada com sucesso em aplicações similares de baixa velocidade.

- Os veículos de levitação se mostram mais econômicos se comparados com outros meios de transporte.

A Tabela 1.2 ilustra um comparativo entre o consumo de energia em Wh por pessoa por quilômetro. Percebe-se que os veículos, embora utilizem “combustíveis” diferentes, são comparados em uma unidade padrão que é o Wh, para isso foi feita uma conversão (equivalência) da capacidade de geração de energia de cada fonte motriz dos veículos.

Muitas são as vantagens do uso da tecnologia de levitação magnética, porém se trata de uma tecnologia de aplicações recentes, somente a intensificação na construção de protótipos e de linhas comercialmente exploradas mostrarão um horizonte maior de possibilidades de desenvolvimento, crescimento, otimização e expansão.

Dentre tantas vantagens, a possibilidade de operar um trem de levitação magnética como um APM é motivadora. Principalmente o MagLev-Cobra, por se tratar de um veículo único no mundo, com suas peculiaridades que o diferem dos demais trens de levitação. Ou seja, não existe um modelo pronto de transformação/adequação para tornar o MagLev-Cobra um veículo APM.

Tabela 1.1 – Aplicações típicas para um veículo MagLev (THORNTON, 2009).

Velocidade Máxima [km/h]	100 Baixa	200 Média	400 Alta	600 Muito alta	900 Subsônica
Aplicações	- Urbana - Em cidades - Em aeroportos	- Metrôs - Comunicação com/entre aeroportos	- Entre cidades	- Entre cidades - Acesso para aeroportos	- Longas distâncias - Viagens
Distâncias [km]	1-20	10-100	50-600	400-1200	>800

Tabela 1.2 – Comparativo do consumo de energia de alguns meios de transporte (THORNTON, 2009).

Meio de transporte	Wh/(passageiro.km)
Aviação comercial doméstica	196
Automóvel ano 2006	211
Transporte ferroviário (Combustível)	167
Boeing 737-3 Dreamliner	97
Valero E HSR*, 300 km/h	109
Automóvel Prius 2009	96**
TR 09 MagLev, 300km/h	84

* *High Speed Rail* (HSR); ** Previsão da montadora Toyota

1.3 Objetivos e métodos

As motivações foram expressas na Seção 1.2. Nesta seção serão traçados os objetivos e metas a serem alcançados a partir destas motivações.

- **Objetivo geral:** Estudar as técnica de propulsão do veículo MagLev-Cobra, desenvolvido na COPPE/UFRJ, e adequá-lo para sua aplicação como um APM.

- **Objetivos específicos e métodos:** Os objetivos específicos e os métodos de abordagem de cada objetivo específico, apresentados na Tabela 1.3, foram organizados como passos necessários para se alcançar o objetivo geral.

Tabela 1.3 – Tabela associativa entre os objetivos específicos e os métodos aplicados.

Objetivos específicos	Métodos
Descrever o MagLev-Cobra e posicioná-lo com relação aos veículos convencionais roda trilho e, também, a outros veículos de levitação magnética.	Pesquisa bibliográfica histórica e técnica.
Detalhar os principais componentes que tornam o MagLev-Cobra um veículo diferenciado em relação aos demais.	Descrição de componentes com base em catálogos técnicos, relatórios de ensaios, fotos, ilustrações, etc.
Detalhar o sensoriamento e os atuadores que compõem o conjunto e suas funcionalidades. Principalmente aqueles imprescindíveis em uma aplicação APM.	Utilização de projetos, diagramas, informações de *datasheets* e determinações de norma para posicionar sensores e atuadores e conectá-los adequadamente.
Analisar o comportamento da propulsão distribuída e as interações de forças entre os primários do motor linear de indução.	Simulações computacionais com estudos de casos típicos para a operação do MagLev-Cobra.
Investigar o comportamento do MagLev-Cobra quando em operação na linha de testes de duzentos metros, principalmente no que tange as questões relacionadas à influência do motor linear na levitação e perfis de velocidade.	Ensaios na linha de testes com captura de dados de levitação e movimentação.
Analisar as condições atuais do MagLev-Cobra quanto à adequação a um APM e propor adequações quando necessário.	Análise item a item da norma APM com detalhamento dos que são diretamente relacionados à propulsão do veículo.
Analisar propostas para a certificação da linha de testes objetivando, em um primeiro momento, sua operação para transporte de pessoas e, posteriormente, movimentação automática de pessoas.	Análises e comentários sobre propostas de empresas certificadoras, traçado um paralelo entre as propostas.

1.4 Estrutura do texto

Este texto está organizado conforme os seguintes capítulos:

- Capítulo 2: Conceitos gerais e revisão bibliográfica.

O capítulo começa com a apresentação do trem convencional, suas principais partes e a sua técnica de acionamento dos motores. O objetivo desta apresentação é a familiarização com o trem convencional roda-trilho para que seja possível traçar um paralelo entre o que é praticado no meio ferroviário e a proposta do MagLev-Cobra. Há, ainda, neste capítulo, um levantamento histórico sobre veículos MagLev e sobre o MagLev-Cobra, uma descrição sobre o motor linear de indução, a apresentação de três técnicas de levitação magnética e uma introdução ao APM- Automated People Mover.

- Capítulo 3: Descrição dos componentes do veículo MagLev-Cobra.

Este capítulo descreve a estrutura geral do MagLev-Cobra, detalha os principais componentes e mostra a forma com que estes componentes atuam dentro da estrutura geral.

- Capítulo 4: Infraestrutura elétrica.

Neste capítulo há o detalhamento do sensoriamento e atuadores necessários para a operação do MagLev-Cobra. Esta instrumentação do veículo é imprescindível para fazer o MagLev-Cobra operar como um APM.

- Capítulo 5: Sincronismo dos motores lineares e ensaios dinâmicos.

Um estudo contendo simulações com o modelo do motor linear e malhas de realimentação para análise de tração são apresentadas neste capítulo. Os resultados dos primeiros ensaios dinâmicos do MagLev-Cobra na linha de testes de duzentos metros também são apresentados. Neste capítulo está contido o núcleo do trabalho, os demais assuntos abordados dão suporte ao estudo desenvolvido nesta seção.

- Capítulo 6: Operação, requisitos de conforto e segurança e adequação à norma APM.

A relação entre os elementos da propulsão e a adequação às normas APM será discutida. No final do capítulo são discutidas técnicas e propostas para certificação da linha de testes.

- Capítulo 7: Conclusões e trabalhos futuros.

Neste capítulo são apresentadas as conclusões e sugestões de estudos e trabalhos que podem dar continuidade a este trabalho.

1.5 Publicações

Este trabalho possibilitou a produção científica das seguintes publicações:

Roberto André Henrique de Oliveira, Laércio Simas Mattos, Antônio Carlos Ferreira, Richard Magdalena Stephan, "*Regenerative Braking of a Linear Induction Motor Used For The Traction of a Maglev Vehicle*", Revista Eletrônica de Potência, SOBRAEP. Publicado em: 19/08/2014.

Laércio Simas Mattos, Roberto André Henrique de Oliveira, Antônio Carlos Ferreira, Richard Magdalena Stephan, "*Force and current characteristics of a linear induction motor used for the traction of a MagLev vehicle*", Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência - COBEP 2013. Anais... . Gramado, RS, 2013.

Roberto André Henrique de Oliveira, Laércio Simas Mattos, Antônio Carlos Ferreira, Richard Magdalena Stephan, "*Regenerative Braking of a Linear Induction Motor Used For The Traction of a Maglev Vehicle*", Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência - COBEP 2013. Anais... . Gramado, RS, 2013.

Roberto André Henrique de Oliveira, Marcelo Moraes Benes, Laércio Simas Mattos, Antônio Carlos Ferreira, Richard Magdalena Stephan, "*Applying Regenerative Braking to the MagLev-Cobra Linear Induction Traction Motor*", *The 22nd International*

Conference on Magnetically Levitaded Systems and Linear Drives - MagLev 2014. .Anais... . Rio de Janeiro, RJ, 2014.

Laércio Simas Mattos, E. Rodriguez, F. Costa, G. G. Sotelo, R. de Andrade Jr., R. M. Stephan , "*Operation of the MagLev-Cobra prototype in a 200 meters test line*", EUCAS 2015/IEEE *Transactions on Applied Superconductivity* (ISSN:1051-8223), IEEE CSC. (Aceito)

2 Conceitos gerais e revisão bibliográfica

Nesta revisão bibliográfica pretende-se traçar um paralelo entre o antigo e o moderno. Começando por apresentar o bicentenário trem roda-trilho, que, apesar de mudanças na forma com que é impulsionado, sempre se deslocou sobre rodas e truques pesados (COSTA E SILVA, 2012). O exemplo utilizado é o do trem do "Metrô Rio", será possível observar a robustez deste trem e também estimar o quão pesado ele é.

O trem de levitação magnética (MagLev) é apresentado através de um levantamento histórico. O MagLev-Cobra também é apresentado cronologicamente, desde seus primeiros protótipos até o veículo em escala real.

Seções tratando de motores lineares, levitação magnética e *Automated People Mover*, também fazem parte deste capítulo.

2.1 Trem convencional roda-trilho (exemplo: METRÔ RIO)

Nesta seção serão abordados assuntos relativos à tecnologia de trens roda-trilho, em particular os de tração elétrica, pois estes possuem algumas características parecidas com as do MagLev-Cobra.

Os dados, fotografias e figuras aqui apresentados foram obtidos durante visita ao metrô do Rio de Janeiro (METRÔ RIO), com a grande colaboração do Engenheiro Marco Antônio de Souza Biagio e do gerente de Engenharia da Manutenção, Cristiano César de Mendonça.

O METRÔ RIO possui composições formadas por vários vagões, sendo o primeiro deles dotado de uma cabine de comando. Todos os vagões possuem tração

independente. Estes são alimentados por um barramento CC de 750V e a energia é captada através de sapatas coletoras. A propulsão é feita por dois motores CC ligados em série em cada um dos vagões.

Nas próximas subseções serão abordados alguns itens importantes no funcionamento do trem convencional.

2.1.1 Sincronismo dos propulsores dos vagões do trem do METRÔ RIO

Para que não haja desgaste excessivo dos engates mecânicos entre os vagões e, também, para evitar que a tração fique desequilibrada, sobrecarregando algum dos motores do comboio, é necessário que haja a sincronização de comandos em todos os vagões simultaneamente. A Figura 2.1 mostra o esquema básico de como é feito o controle dos motores de corrente contínua a partir da cabine de comando do operador.

Dois sinais de controle são enviados a todos os vagões simultaneamente através de dois *loops* de corrente, sinal P e sinal BRK. O *loop* BRK transmite um sinal digital para cada carro indicando estar em propulsão ou frenagem. O *loop* P indica a quantidade de propulsão ou frenagem a ser aplicada. Nos carros existe um leitor do sinal P para os sistemas de propulsão e frenagem e um leitor de sinal BRK para os mesmos sistemas. Cada carro interpreta o sinal BRK “0” como frenagem e BRK “100mA” como propulsão. O sinal P é analógico e varia entre 60 a 20 mA para intensidade da frenagem e 60 a 100 mA para intensidade da propulsão. Existe uma “caixa lógica” responsável por receber e tratar estes sinais e controlar os sistemas de freios e os *choppers* dos motores CC.

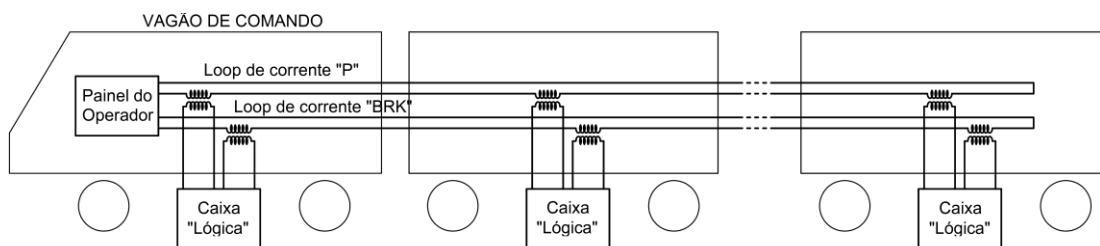



Figura 2.1 - *Loops* de corrente para controle dos motores CC dos vagões.

O sistema de controle dos propulsores opera em malha aberta, não há uma análise dos esforços nos engates e nem mesmo na sobrecarga dos motores geradas por algum desequilíbrio entre o carregamento dos vagões. Mesmo sendo um controle de malha aberta, busca-se operar com esforço nulo nos engates entre os vagões, aplicando-se compensações nos ajustes dos controles dos *choppers*. Estes ajustes servem para minimizar as diferenças de peso do carro, desgastes de roda, rendimento dos motores, etc. Na prática, as compensações não são feitas, pois os técnicos e operadores não conseguiram identificar a real necessidade de ajustar os parâmetros, visto que estes têm pouquíssimas influências na equação geral que gera os sinais dos *choppers* que alimentam os motores.

Uma constatação prática é que os engates são suficientemente robustos a ponto de ser possível operar com um dos vagões totalmente sem propulsão, pois este é arrastado ou empurrado pelos demais.

2.1.2 Sistema de medição de carga

Uma compensação que é feita em tempo real é a de carga. A carga varia de acordo com a quantidade de passageiros presentes no vagão. O sistema composto por um “bolsão de ar”, um tubo e um medidor de pressão consegue captar as informações sobre as variações de carga do trem durante todo o trajeto. A Figura 2.2 mostra o “bolsão” conectado a um vagão.

Figura 2.2 – Sistema de medição de carga (“bolsão” de ar).

No trem do metrô, este sistema serve para adequar os sinais de controle que saem da caixa lógica para os *choppers* dos motores. Embora não seja um sinal de sincronismo, este serve para controlar os motores de forma a tentar equalizar as forças existentes nos engates tornando nulos os esforços entre os carros.

O sistema mostrado na Figura 2.2 é bem volumoso, porém facilmente acomodado no vão livre existente devido à utilização de rodas. No caso do MagLev-Cobra este vão será bem menor, portanto, para o sistema de medição de carga, outra técnica deverá ser adotada. A estimação do carregamento através da variação do *gap* de levitação é uma alternativa e será discutida adiante.

2.1.3 Engates e borrachas entre os vagões

Os engates entre os vagões, teoricamente, deveriam trabalhar com esforços mínimos entre si, mas, como foi mencionado anteriormente, os mesmos têm capacidade de “rebocar” os vagões vizinhos. Este engate é rígido e os movimentos laterais são feitos na conexão entre a base do engate e o vagão.

Em alguns trens do METRÔ RIO, não há trânsito de passageiros entre os vagões, a passagem existente é apenas para serviço (Figura 2.3). Já o MagLev-Cobra é composto de vários pequenos módulos (vagões), os usuários transitarão livremente entre os acoplamentos.

Figura 2.3 – Acoplamento entre os carros do metrô.

2.1.4 O sistema de freios

O METRÔ RIO possui três sistemas de freios. Um freio regenerativo, um freio dissipativo, através de um banco de resistores, e um freio mecânico. A sequência preferencial de atuação dos freios aponta para, em uma primeira alternativa, o uso do freio regenerativo, pois haverá maior economia de energia durante o funcionamento da composição, cerca de 15% ao dia, se esta for a única técnica de frenagem adotada (ADINOLFI, LAMEDICA, *et al.*, 1998). Em caso de falha da primeira opção, a segunda seria utilizar o freio dissipativo, que consiste em operar o motor como gerador e ligá-lo a um banco de resistências, utilizando a força contra eletromotriz para a frenagem. A terceira opção é o uso do freio mecânico (pastilha e disco). Esta opção deve ser preterida às demais, pois este sistema requer uma maior manutenção, ocasionando maiores custos. A Figura 2.4.a mostra o motor CC de 190 CV que pode operar de forma regenerativa, na Figura 2.4.b visualiza-se o banco de resistências, para frenagem dissipativa, e o freio mecânico é visto na Figura 2.4.c.

a) b) c)

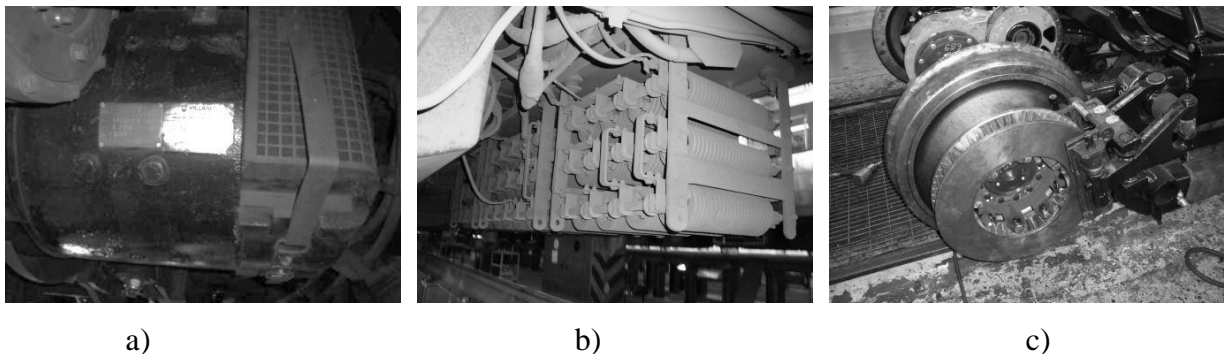



Figura 2.4 – Sistemas de freios. a) motor CC, b) banco de resistores e c) freios mecânicos.

Por questões de segurança, um destes três sistemas de freio, geralmente o mecânico, deve atuar como freio de segurança. Este sistema é comandado por um conjunto de mangueiras e vias elétricas, conhecido como *train line*, que percorrem todos os vagões do trem (FERREIRA, 1982). O sistema é acionado por atuadores presentes nos vagões e comandado por botões de emergência localizados estrategicamente. Seja qual for o tipo de transporte, deve-se sempre prever situações de emergência, neste caso, sistemas eficientes de frenagem devem atuar para garantir a segurança do usuário em primeiro lugar.

2.1.5 Sapatas coletoras de energia

As sapatas coletoras de energia são pontos críticos no funcionamento das composições do metrô, centelhamentos são frequentes devido a vibrações e imperfeições do trilho e da sapata, por este motivo, sapatas de *backup* ao longo do trem tornam-se quase que obrigatórias.

A Figura 2.5 é de uma sapata coletora de energia; neste caso, o barramento energizado é colocado no lado externo dos trilhos. O caminho de retorno é através das rodas e dos trilhos de rolagem. O suporte da sapata é dotado de fusível e de uma borracha que pressiona a sapata fortemente contra o chamado “terceiro trilho” ou trilho energizado.

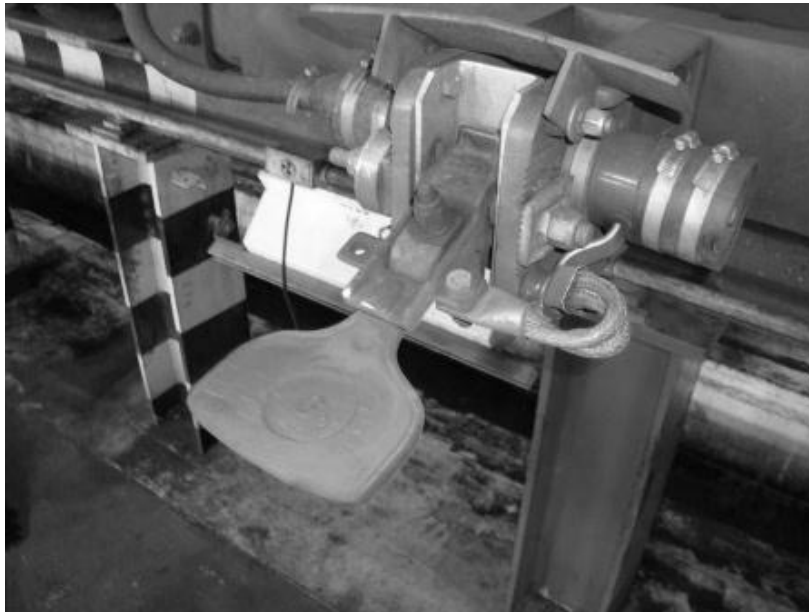



Figura 2.5 – Sapata coletora de energia.

2.1.6 Componentes elétricos e eletrônicos

Os componentes elétricos e eletrônicos são antigos, porém atendem perfeitamente às necessidades de funcionamento das composições. Alguns de seus componentes são:

- Contatores de conexão: acoplam os cabos de alimentação ao barramento de

energia do trem.

• Contatores de reversão: responsáveis por reverter o sentido dos motores.

• Painel dos circuitos de comando: controlam contatores, condicionador de ar, portas, sinalização, sistema de som, iluminação, etc.

• *Chopper*: conversor CC-CC responsável pela aceleração e frenagem regenerativa da composição.

2.1.7 Parte mecânica de acoplamento dos motores e redutores às rodas

A parte de tração dos carros é bastante robusta, composta por motores pesados, grandes caixas de redução e acoplamentos pesados entre as reduções e as rodas, além de eixos e rodas volumosos e pesados. Todo este aparato mecânico garante tração entre o par roda-trilho sem que haja escorregamento, tanto no arranque, quanto na frenagem. Grande parte do peso de um vagão é devido a estes componentes, no caso do MagLev-Cobra, este aparato será eliminado, o que o tornará bem mais leve que um trem convencional.

2.2 Veículos MagLev

2.2.1 Levantamento histórico

Para se chegar a um veículo de levitação magnética, foram necessárias evoluções constantes de teorias e técnicas ao longo dos anos. Um breve levantamento histórico serve para enaltecer o empenho dos pioneiros da levitação magnética e principalmente ajudar no entendimento de como a teoria evoluiu para implementações como as existentes nos dias de hoje.

No início do século XX, em 1912, o inventor Francês Emile Bachelet publicou

na primeira página do jornal Mount Vernon (N.Y.), o que seria o primeiro anúncio público da ideia de um trem levitando sobre campos magnéticos. Naquela época, Bachelet já vislumbrava a possibilidade deste veículo atingir altíssimas velocidades, cerca de 300 Milhas/h (482 km/h) (BOWER, 2010). Em 1914, Bachelet sugeriu o uso de bobinas tanto para levitação quanto para propulsão de veículos, mas com o advento da primeira guerra mundial a ideia foi esquecida por um longo tempo. Uma retomada no desenvolvimento de veículos MagLev ocorreu quando, em 1947, o Professor E. R. Laithwaite, do *Imperial College* de Londres, iniciou seus trabalhos em um Motor de Indução Linear (LIM - *Linear Induction Motor*) e, aproximadamente uma década depois, começou a publicar artigos a respeito (THORNTON, 1975).

A partir das publicações de Laithwaite, o tema a respeito de veículos de levitação magnética se difundiu para diversos países.

A primeira experiência com levitação bem sucedida na Alemanha data da década de 1930, com Hermann Kemper. Os alemães continuram o desenvolvimento de suas pesquisas, mas, somente no ano de 1969, Krauss Haffei construiu o primeiro grande modelo funcional utilizando suspensão eletromagnética (EMS- *Electromagnetic Suspension*). O primeiro veículo funcional foi concebido em 1971. O veículo de estator curto EMS operava em uma pista de aproximadamente 660m e atingiu a velocidade de 72 km/h. O TR04 (Transrapid 04) não tripulado, chegou a 400km/h em 1974. Neste mesmo ano, foi construída uma pista de 100 m para o veículo de estator longo. Os alemães buscaram outra linha de desenvolvimento do veículo de levitação e em 1978, utilizaram a suspensão eletrodinâmica (EDS- *Electrodynamic Suspension*) em uma pista circular na qual se alcançou a velocidade de 160 km/h, mas esta tecnologia foi abandonada devido a discussões em torno dos altos campos magnéticos presentes no interior do veículo e altos custos de implantação e manutenção, sendo assim, os esforços se concentraram na tecnologia EMS. Continuando o desenvolvimento de seus veículos, a Alemanha construiu novas versões do Transrapid. O TR05 (estator longo) foi o primeiro veículo aprovado para transporte de pessoas com esta tecnologia e em 1979, foi apresentado ao público na *International Transport Exbibition* em Hamburgo. O TR06 surge em 1988 e é testado em uma linha de testes em Emsland. Esta versão para 100 passageiros atinge 400 km/h. O TR07 é o protótipo de um veículo de serviço. É mais leve e mais rápido que o TR06, seus testes começaram em 1989 (DICKHART, 1991).

Embora fora de seu país, os alemães implementaram a primeira linha comercial e utilizaram modelo TR08, em Xangai 2002. A via é dupla e parte da linha Nº 2 do metrô e termina no aeroporto Internacional de Pudong (30 km). A velocidade máxima de operação é de 430 km/h e a viagem dura 8 minutos (LUGUANG, 2006). A operação da linha de Xangai contribui decisivamente na implementação de melhorias no transporte MagLev. O modelo TR09 traz consigo melhorias para sanar maus funcionamentos ou desgastes devido ao uso em escala comercial do TR08 (TUM, HUHN e HARBEKE, 2006).

Na China, na década de 1980, houve uma grade movimentação no sentido do desenvolvimento do trem MagLev de alta velocidade, pois, com o crescimento do país, havia uma demanda crescente do transporte de passageiros a longas distâncias para cobrir as dimensões continentais da China. Nos anos de 1990, a necessidade de um trem de alta velocidade ligando Pequim-Xangai acendeu a discussão acerca da possibilidade desta ligação ser feita por um trem MagLev. Em Junho de 1998, em seu discurso à Assembleia Geral Ordinária da Academia Chinesa de Ciências e da Academia Chinesa de Engenharia, o Premier Zhu Rongji proferiu: "Vamos construir a Linha de Alta Velocidade Pequim-Xangai. Por que não considerar a utilização MagLev?". Provavelmente desta indagação surgiu a primeira linha comercial em atividade no mundo, a linha Transrapid importada da Alemanha (LUGUANG, 2006; LUGUANG, 2007). Após anos de testes o governo Chinês aprovou a extensão desta linha por mais 175 km, ligando Xangai a Hangzhou (ROSE, PETERSON e LEUNG, 2008), mas por enquanto o projeto encontra-se parado.

O Japão iniciou o desenvolvimento de seu veículo de levitação ferroviária em 1962 e sua primeira linha de testes foi concluída em 1977, linha de "Miyazaki". Após os testes desta linha, o Ministério dos Transportes japonês criou um comitê que solicitou a construção de uma nova linha, pois havia a necessidade de investigar a aplicação desta tecnologia como meio de transporte público (SAWADA, 1996). A linha de testes de "Yamanashi" (18,4 km de extensão) ficou pronta em dezembro 1996 e no teste de velocidade realizado em abril de 1999, o MagLev japonês atingiu a marca de 552 km/h em apenas 100 segundos, percorrida uma distância de 8 km (ONO, KOGA e OHTSUKI, 2002). Os testes prosseguiram e o governo japonês, reconhecendo a relevância e os resultados obtidos, autorizou, em 2007, a renovação e ampliação da estrutura atual, prevendo testes com um comboio semelhante ao trem Shinkansen, trem

bala japonês (TAKAHASHI, 2008). Em Abril de 2015, foi atingida a velocidade recorde de 603 km/h (BBC NEWS, 2015).

A história do AMT (*American MagLev Technology*) foi iniciada em Atlanta no início da década de 1990, impulsionado pela necessidade de transporte de visitantes para os "Jogos Olímpicos de Atlanta de 1996". Como havia a desconfiança que o AMT não ficaria pronto para os jogos e o veículo não tinha provado ser a solução para os problemas de transito da cidade, o projeto foi preterido a outras alternativas de transporte e trânsito, porém o projeto do AMT continuou seu desenvolvimento, mas agora em passos lentos. Em 1994, uma equipe de engenheiros transferiu o projeto para a Flórida, onde foi construída uma pista de testes na cidade de Edgewater com ajuda do governo local. Depois de obter sucesso com a levitação e propulsão, o projeto foi transferido para Norfolk na Virgínia, onde foi iniciada a construção de um protótipo em escala real em dezembro de 2000. Finalmente, em julho de 2001, a pista de ensaios do AMT entra em funcionamento (JOHNSON, 2013). Em 2013 a AMT propôs um projeto de instalação de um trem MagLev ligando o Aeroporto Internacional de Orlando e o centro de convenções *Orange County*. Uma equipe técnica foi montada para fornecer uma avaliação do sistema AMT operando como *Automated People Mover*, para determinar as suas capacidades operacionais e capacidade para transportar com segurança os passageiros ao longo da rota do projeto (THOMPSON e VENTER, 2013).

Um capítulo especial da história da levitação magnética se deu na cidade de Birmingham, na Inglaterra, onde foi implantado o sistema MagLev ligando o Aeroporto Internacional de Birmingham ao Centro Nacional de Exposições (NEC - *National Exhibition Centre*). Tracionado por motores lineares, os veículos viajavam a cerca de 42 km/h e eram capazes de transportar 40 passageiros em um trajeto de 620 metros de comprimento. Ironicamente o bom funcionamento do veículo foi um dos responsáveis pela sua desativação. Como durante os onze anos de funcionamento (1984-1995) não houve muitos problemas de manutenção, o desenvolvimento de novas tecnologias aplicadas ao veículo não foram consideradas, então, ao ultrapassar uma década de funcionamento, a indústria não possuía mais peças de reposição para a "ultrapassada" tecnologia (CITYTRANSPORT.INFO, 2015).

O interesse pela tecnologia MagLev é crescente no mundo. Na "*The 19th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives*" em

2006, König e Porath (2006) publicaram uma linha do tempo, esperando ver implantado no ano de 2017 o SwissRapide Express, que seria o trem MagLev Suíço a ligar Bern, na cidade de Zurique, ao aeroporto de Zurique. Kruse e James (KRUSE e JAMES, 2006) publicaram o projeto de 800 km ligando Londres até Glasgow, listando as vantagens e benefícios de sua implantação na Grã Bretanha. Uma interligação entre vários países da Europa era defendida por Neumann (2006), que ainda faz comparações entre a tecnologia MagLev e a de trens roda-trilho, enfatizando as potencialidades da tecnologia defendida.

Em 2008, na "*The 20th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives*", novos projetos foram apresentados. Um resumo dos projetos e sugestões para implantação é listado a seguir:

- Ligação: Catar – Bahrein; Distância: 181 km; Velocidade máxima: 500 km/h; Tempo de viagem: 40 minutos; Capacidade: 453 passageiros por hora (THIEL, 2008).

- Ligação: Porto de Los Angeles até um centro de distribuição na cidade de Los Angeles, Estados Unidos da América; Distância: 7,5 km; Velocidade: entre 120 km/h e 240 km/h; Observação: Veículo de carga (ROSE, PETERSON e LEUNG, 2008).

- Ligação: Atlanta – Chattanooga, Estados Unidos da América, Distância: 201 km (FERGUSON, 2008).

- Ligação: Califórnia – Nevada, Estados Unidos da América; Distância: 432 km; Velocidade máxima: 500 km/h (CUMMINGS, 2008).

- Ligação: Trem urbano na ilha de Yongjong, Coréia; Distância: 6,1 km; Velocidade de operação: 100 km/h (YONG, SI, *et al.*, 2008).

- Ligação: Trem metropolitano na cidade de Zagreb, Croácia; Distância: 20 km; Velocidade de operação: 100 km/h; Capacidade: 10.000 passageiros por hora (DUJMOVIĆ, 2008).

Seguindo a linha do tempo das conferências, a "*The 21th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives*", ocorreu em

Daejeon, Coreia, em 2011. Os artigos que tratam de perspectivas e novos empreendimentos MagLev continuaram a ser apresentados. Um estudo projetando a expansão do transporte MagLev nos Estados Unidos da América previa uma grande rede de interconexão de cidades que aconteceria entre 2015 e 2030 (POWELL, JORDAN, *et al.*, 2011). A viabilidade técnica para a construção de uma linha de alta velocidade, com duas rotas na ilha de Tenerife totalizando 120 km, é apresentada por Fritz e Mnich (2011). Retzmann *et al.* (2011), apresentam um estudo de viabilidade de uma linha MagLev de alta velocidade ligando Moscou a Berlim, o comprimento total é de 1.750 km, a ser percorrido com a velocidade de 600km. Nesta conferência, o MagLev-Cobra foi apresentado como o primeiro protótipo em escala real a utilizar Levitação Magnética Supercondutora(SML -Superconducting Magnetically Levitated) (STEPHAN, ANDRADE, *et al.*, 2011).

O LASUP/COPPE/UFRJ (Laboratório de Aplicações de Supercondutores) organizou a "*The 22th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives*" no Rio de Janeiro, em outubro de 2014. Nesta conferência foram apresentadas novas possibilidades para o futuro da levitação magnética. A Coreia anunciou a segunda fase do seu Programa MagLev Urbano, mudando o foco da linha de testes de KIMM/Daejon para a construção da linha de demonstração e comissionamento no Aeroporto Internacional de Incheon (SHIN, PARK, *et al.*, 2014). O Governo de Tenerife, nas Ilhas Canárias, deu prosseguimento ao planejamento da linha que interligará o aeroporto e os portos marítimos da ilha (FRITZ e MNICH, 2014). Lanzara e D'Ovidio (2014), apresentam o estado da arte do MagLev Italiano UAQ4, este modelo utiliza tecnologia SML.

Em várias conferências internacionais de levitação magnética (MagLev) ocorreram as apresentações de protótipos, veículos em escala reduzidas e veículos em escalas reais. A Tabela 2.1 é um resumo das vinte e duas conferências realizadas até hoje e é possível observar que há uma rotatividade entre os continentes de realização, ficando restritas a América, a Ásia e a Europa. Em quatorze das vinte e duas houve a apresentação de um novo veículo ou protótipo.

Tabela 2.1 – Lista das vinte e duas conferências MagLev ocorridas até hoje.

Conferência MagLev	Ano	Cidade	Continente	Veículo/protótipo apresentado
1 st	1977	Boston, USA	America	
2 nd	1978	Miyazaki, Japan	Asia	ML-500
3 rd	1979	Hamburg , Germany	Europe	TR-05
4 th	1982	Miyazaki, Japan	Asia	MLU-001
5 th	1983	Washington, USA	America	
6 th	1984	Solihull (UK)	Europe	Birmingham MagLev
7 th	1985	Tokyo (Japan)	Asia	HSST-03
8 th	1986	Vancouver, Canada	America	
9 th	1987	Las Vegas, USA	America	
10 th	1988	Hamburg, Germany	Europe	TR-06
11 th	1989	Yokohama, Japan	Asia	HSST-05, MLU-002
12 th	1992	Lyon, France	Europe	
13 th	1993	Argonne, Illinois, USA	America	
14 th	1995	Bremen, Germany	Europe	TR-07
15 th	1998	Yamanashi, Japan	Asia	HSST-100, MLX-01
16 th	2000	Rio de Janerio, Brazil	America	SML small scale prototype
17 th	2002	Lausanne, Switzerland	Europe	
18 th	2004	Shanghai, China	Asia	Shanghai MagLev
19 th	2006	Dresden, Germany	Europe	
20 th	2008	San Diego, USA	America	GA Urban MagLev
21 st	2011	Daejeon, Korea	Asia	KIMM Urban MagLev
22nd	2014	Rio de Janeiro	America	MagLev-Cobra

2.2.2 MagLev-Cobra – UFRJ

O “MagLev-Cobra” é um projeto desenvolvido na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) por uma equipe de pesquisadores e está ligado ao Laboratório de Aplicações de Supercondutores (LASUP). A proposta inovadora deste veículo, se comparada com outros veículos de levitação magnética, é a sua grande capacidade de

efetuar curvas de raios reduzidos e flexibilidade de transição entre aclives e declives acentuados. Isso é alcançado porque o veículo é composto de diversos módulos de pequeno comprimento, o que o torna mais articulado que os veículos convencionais. O nome "Cobra" se deve ao fato deste veículo "serpentear" sobre os trilhos, tornando-o ideal para implementação em centros urbanos devido a sua capacidade de integração aos contornos de vias, marginais de rios e de desviar de obstáculos existentes.

Os estudos iniciais da tecnologia MagLev-Cobra foram possíveis através da construção de um protótipo em escala reduzida. Trata-se de uma linha com trajetória oval de 30 metros, com um veículo MagLev provido de Supercondutores de Alta Temperatura Crítica (HTS - *High Temperature Superconductor*), criando o denominado "efeito pinning", que o permite levitar de modo estável na presença de um campo magnético (STEPHAN, FERREIRA, *et al.*, 2003). O projeto de implantação de uma linha de testes em escala real com tecnologia MagLev-Cobra no campos da COPPE/UFRJ, na Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, é o passo a ser dado no caminho do desenvolvimento das pesquisas iniciadas com o veículo miniatura. O projeto inicial previa uma linha com comprimento total de 114 m, e esta via serviria para validação da capacidade do veículo realizar curvas com raio de 30 m e subir rampas de até 15% de inclinação (STEPHAN, 2015). A via existente possui 200 m de comprimento em linha reta com uma pequena declividade.

Todas as etapas do projeto se basearam em níveis de maturidade da tecnologia (TRL - *Technology Readiness Levels*). Os níveis variam de TRL1 a TRL9 (NASA, 2014). A primeira etapa do desenvolvimento do MagLev-Cobra ocorreu entre os anos 2000 e 2006, neste período foi construído e testado o protótipo em escala reduzida. Os níveis de maturidade ou prontidão relacionados a essa etapa foram o TRL1, TRL2 e TRL3, que correspondem a observações e relatos dos princípios básicos, formulação dos conceitos e aplicações da tecnologia e provas de validações de conceito, respectivamente. O protótipo funcional é um módulo unitário montado sobre trilhos de ímãs afixados em laje de concreto pré-moldado. As pesquisas relacionadas ao protótipo funcional ocorreram entre 2008 e 2012 e correspondem ao TLR4 e ao TRL5, ambos relacionados à validação de componentes e sistemas, sendo o primeiro em ambiente laboratorial e o segundo em situações reais. Os TRLs 6 e 7 tratam da demonstração em escala real no protótipo operacional. A demonstração iniciou-se em 2014 e está prevista para ser finalizada em 2016 com a certificação da linha de testes. Os dois últimos níveis

TRL culminam na industrialização (Figura 2.6).

Figura 2.6 – Protótipo MagLev montada no LASUP.

2.3 Motor linear

Os veículos de levitação magnética podem ser impulsionados de várias formas. Há experimentos nos quais são utilizados até mesmo foguetes como propulsores (HSU, LANGHORN, *et al.*, 2009), porém este recurso não está sendo utilizado para veículos de transporte de passageiros. O modo mais comum encontrado na literatura é através de motores lineares.

Uma maneira de entender um motor linear é através da planificação de um motor rotativo (LAITHWAITE, 1975). A Figura 2.7 mostra a “transformação” de um motor rotativo em um motor de indução linear. Nota-se que o motor planificado é um motor de indução do tipo gaiola de esquilo, porém esta analogia pode ser utilizada para outros tipos de motores, como por exemplo, motores síncronos e motores de indução de rotor bobinado.

O motor linear pode ser do tipo primário curto (estator curto) e primário longo (estator longo). Cada uma das configurações possuem suas vantagens e desvantagens, devendo ser estudada para cada aplicação, qual a melhor a ser utilizada. Nota-se que para transformar o motor da Figura 2.7.c em um motor de primário curto, basta expandir

a “gaiola” (secundário ou linor), colocando lado a lado novos “módulos” de secundários para formar o percurso desejado, cobrindo a distância a ser percorrida.

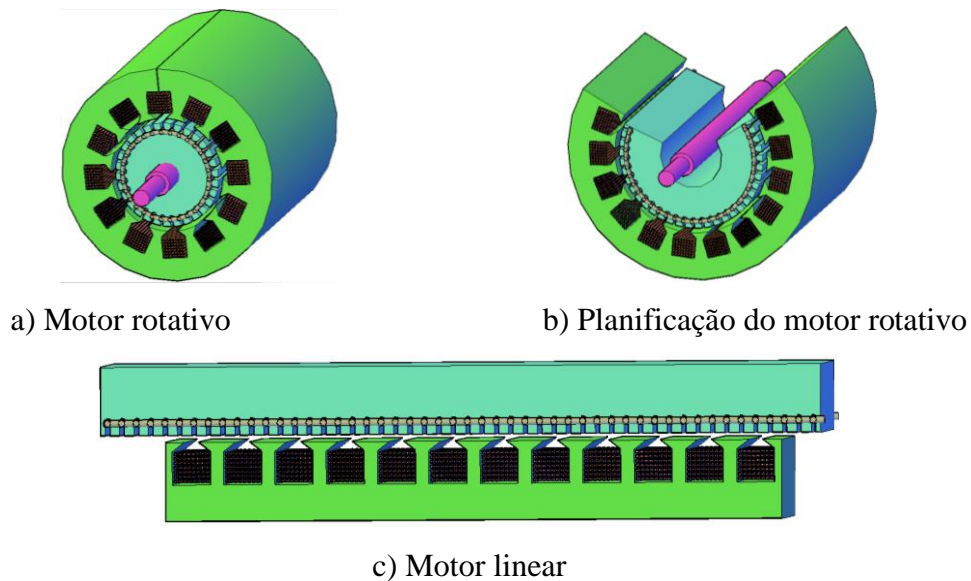



Figura 2.7 – Planificação imaginária de um motor de indução de rotor gaiola de esquilo.

Com base na ideia inicial apresentada, pode-se construir o motor linear de várias formas, o que faz com que se tenha alterações no seu rendimento e força, e também, na sua massa, volume e complexidade. Algumas formas comumente utilizadas em veículos são a do “Motor de Indução Linear de Face Única” (*SLIM –Single-sided Linear Induction Motor*) e a do “Motor de Indução Linear de Face Dupla” (*DLIM –Double-sided Linear Induction Motor*). Em ambos os casos, é possível a construção com primário curto ou longo (GIERAS, 1994). O DLIM aproveita melhor o campo gerado pelas bobinas do primário, mas em contrapartida possui um custo inicial mais elevado e em algumas configurações pode diminuir a capacidade de alguns veículos de fazerem curvas. O SLIM é de fácil manufatura e menor custo, por isso é largamente difundido em aplicações de transporte de passageiros. Existem, também, motores lineares setoriais e tubulares, sendo estes para aplicações específicas diferentes das desejadas neste trabalho.

São grandes as vantagens da tração veicular por motor linear, uma delas é seu baixo custo de manutenção. Isso ocorre devido à ausência de rolamentos mecânicos, engrenagens e acoplamentos. Outra é a ausência de necessidade de atrito (roda-trilho) para propulsão e frenagem, o que torna o motor ideal para trechos nos quais o veículo tenha que vencer grandes aclives e declives (CREPPE, 1997).

2.4 Levitação magnética

A levitação magnética aplicada a trens, atualmente é alcançada de três formas, a levitação eletrodinâmica (EDL- *Electrodynamic Levitation*), a levitação eletromagnética (EML - *Electromagnetic Levitation*) e a levitação magnética supercondutora (SML – *Superconducting Magnetic Levitation*). As duas primeiras já foram testadas com sucesso em linhas de teste em tamanho real, como por exemplo, a linha de testes baseada em EDL localizada em Yamanashi no Japão e a linha EML de Xangai na China. A SML é uma alternativa interessante às anteriores devido a uma série de fatores que serão listados neste texto (STEPHAN, 2015).

2.4.1 Levitação Eletrodinâmica (EDL)

A levitação eletrodinâmica baseia-se na lei de Lenz; quando um material magnético movimenta-se em relação a um condutor, neste são geradas correntes induzidas que provocam o aparecimento de campos magnéticos opostos aos do material magnético, a interação destes campos produzirá forças responsáveis pela levitação (Figura 2.8.a). Uma desvantagem deste sistema é que ele necessita de rodas e trilhos até que alcance a velocidade de levitação (cerca de 120 km/h) e só então "alçará voo". O custo elevado desta técnica e o alto consumo de energia são fatores prejudiciais ao seu desenvolvimento.

2.4.2 Levitação Eletromagnética (EML)

A EML explora a força de atração existente entre eletroímãs e materiais ferromagnéticos (Figura 2.8.b). Uma grande vantagem desta tecnologia é que foi possível eliminar o aparato roda-trilho dos comboios, diminuindo significativamente a massa dos veículos. Na aplicação do Transrapid de Xangai, um conjunto de eletroímãs é instalado no veículo enquanto o material ferromagnético está presente em todo percurso da linha. Um problema deste tipo de levitação é que o mesmo é intrinsecamente instável, necessitando de sistemas de controle para sua utilização segura.

2.4.3 Levitação Magnética Supercondutora (SML)

O grande avanço na levitação magnética supercondutora se deu ao fato da descoberta dos supercondutores de alta temperatura crítica (HTS). Diferentemente dos primeiros supercondutores, os HTS podem ser resfriados a uma temperatura mais alta, cerca de -196^{o}C, contra -269^{o}C dos supercondutores convencionais.

A propriedade diamagnética dos supercondutores provoca a expulsão do campo magnético de seu interior, resultando na sua levitação provocada pelo campo produzido por ímãs (Figura 2.8.c). Entre os supercondutores, o do tipo II, embora tenha força de levitação reduzida, oferece estabilidade na levitação, o que dispensa malhas de controle complexas. A tecnologia MagLev-Cobra adotará a SML em sua linha de testes de 200 m, respaldado pelos ensaios realizados em seu protótipo em escala reduzida, que utiliza esta tecnologia, e aponta para a SML como melhor alternativa a ser implementada.

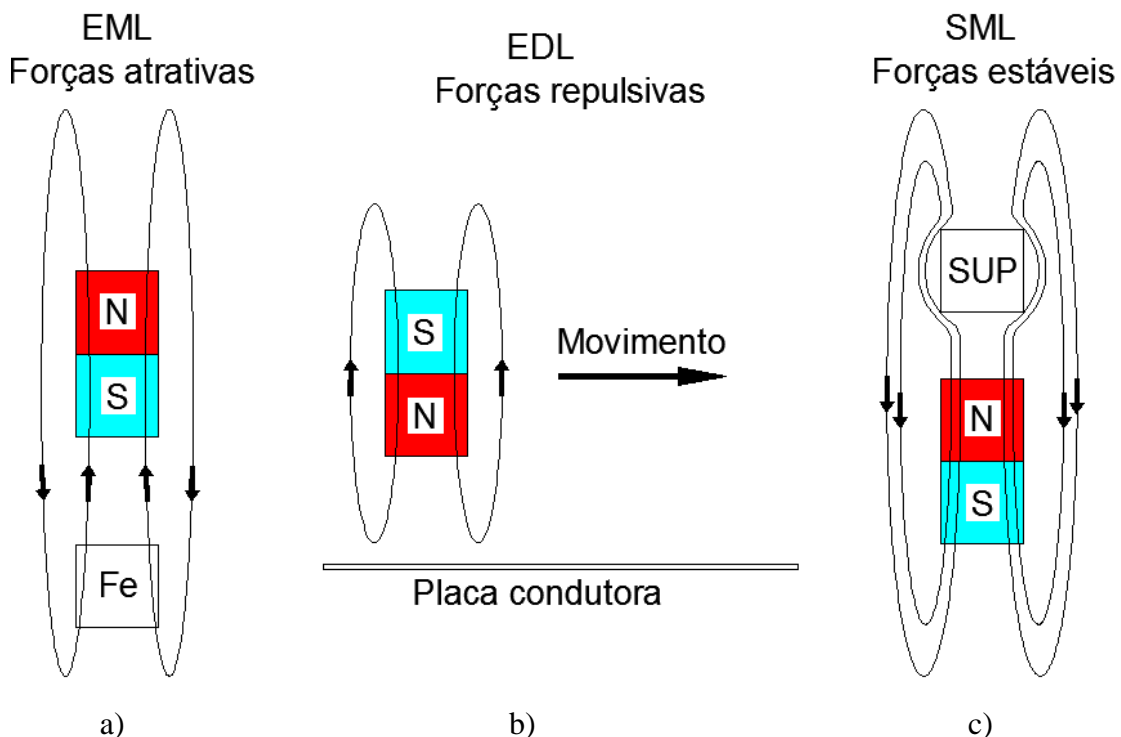



Figura 2.8 – Técnicas de levitação magnética. a) eletrodinâmica (EDL), b) eletromagnética (EML) e c) supercondutora (SML).

2.4.4 Comparação entre as técnicas de levitação

Comparações entre as três técnicas de levitação apresentadas, são apresentadas na Tabela 2.2, com base nas observações de Leonhard, *et al.* (1978) e na referência Stephan (2015).

Tabela 2.2 – Comparativo entre as tecnologias EDL, EML e SML.

Características	EDL	EML	SML
Necessidade de Rodas	Sim	Não	Não
Peso	Elevado	Médio	Leve
Levitação	Só ocorre após uma velocidade crítica e é estável.	Permanente e instável, exige um sistema de controle sofisticado	Permanente e estável, necessita de resfriamento dos supercondutores
Estabilidade / Controle	Estável / Sofisticado	Instável / Sofisticado	Estável / Simples
Obras civis	De grande porte e preferencialmente a nível do solo	De pequeno volume, podem ser feitos elevados, diminuindo a faixa de consumo de terreno e adaptando-se a vias urbanas existentes.	De pequeno volume, podem ser feitos elevados, diminuindo a faixa de consumo de terreno e adaptando-se a vias urbanas existentes.
Gap necessário	~ 100mm	~ 10mm	~ 10mm
Vantagens	- O grande gap diminui o risco de contato com a pista.	- Levitação e propulsão independente da velocidade. - Design favorece o não descarrilamento	- Não consome energia elétrica para levitação (Apenas nitrogênio líquido). - É intrinsecamente estável

Características	EDL	EML	SML
Desvantagens	- Não se aplica a baixas velocidades ou a trajetos com muitas paradas. -Altíssimos custos de construção dos trilhos e sistemas de levitação. - Necessidade de blindagens magnéticas	-Devido ao pequeno gap, necessita de alta precisão na construção da via e precisa de manutenção permanente.	-Devido ao pequeno gap, necessita de alta precisão na construção da via e precisa de manutenção permanente. - A falta de refrigeração anula a levitação supercondutora -trilho de ímãs.

2.5 Automated People Mover (APM)

A automação de processos é constante no meio industrial. A cada dia, novas máquinas e equipamentos operam com intervenção mínima de operadores, Na maioria das vezes, os processos automatizados resultam em ganho de qualidade e produtividade. A automação de processos que envolvem seres humanos é uma realidade crescente, mas, diferentemente dos processos industriais, o “insumo” desta automação é o homem, portanto cuidados adicionais para a preservação da vida devem ser tomados, e, além disso, como o ser humano é um “insumo” provido de livre arbítrio sobre suas atitudes, a gama de possibilidades de locomoção e tomadas de decisão são inúmeras.

O processo automático de transporte de pessoas (APM) deve levar em consideração o comportamento humano na mais vasta gama de possibilidades e de situações extremas, como, por exemplo, condições de tranquilidade, emergência, incêndio, superlotação, evacuação, falta de energia, acesso às guias, etc. No APM, diferentemente dos processos industriais, falhas não resultam em “retrabalho” ou reprocessamento da matéria prima, pois a matéria prima deste processo são vidas humanas. Com esta visão é notório que normas de segurança para APM sejam bastante rígidas e específicas. Outra preocupação com processos APM é sua produtividade. A

satisfação dos usuários é um indicador importante a ser alcançado e isso se consegue diminuindo o tempo de espera e translado e aumentando o conforto e a qualidade dos serviços.

Uma aplicação consagrada e difundida de APMs são os elevadores, este modo de transporte vertical conta com um sistema de atendimento por demanda. De acordo com a necessidade dos usuários, o sistema se move automaticamente para atendê-los. Uma lógica de atendimento existe para evitar que o elevador fique transitando entre andares de forma desordenada, o que resultaria em atrasos e insatisfação de usuários. A norma ABNT NBR 207 trata da forma construtiva destes APMs e em vários tópicos, tais como, abertura e fechamento de portas, sinalizações de emergência, sistema ante estrangulamento, freios de emergência, limitadores de velocidade, fins de curso, manutenções obrigatórias, entre outros itens de segurança (ABNT, 1999), tornam clara a preocupação com a segurança.

Uma aplicação mais recente de APM é o transporte de passageiros entre as plataformas de embarque nos aeroportos. Dada à importância desta aplicação, a cooperativa do programa de pesquisa em aeroportos (ACRP- *Airport Cooperative Research Program*), sediada em Washington, USA, publicou um guia para planejamento e implementação de APMs nos aeroportos. Até o ano de 2010 já estavam em funcionamento 44 sistemas APM nos aeroportos de todo mundo, sendo o primeiro no aeroporto de Tampa, na Florida, em 1971 e o mais recente no aeroporto de Washington Dulles, em Washington em 2010 (LEA+ELLIOT, 2010).

Pequenas áreas densamente povoadas também são objetos de estudo para a aplicação de sistemas APM, como por exemplo, o país de Liechtenstein. O estudo de caso proposto em Scherer *et al.* (2009) relata que há uma razão de 700 carros para cada 1000 habitantes, e que o transporte público é utilizado por apenas 10% da população. Neste cenário, somente um transporte eficiente, seguro, prático, confortável e confiável é capaz de inverter este quadro. Este estudo prevê ganhos econômicos, de qualidade de vida, de segurança e ambientais, além de propor soluções de longo prazo para o transporte público daquela localidade. No Brasil, existem vários centros urbanos, densamente povoados, onde podem ser aplicados sistemas APM.

Existem variadas propostas de implementação de APMs, como a do aeroporto

Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport, onde uma integração entre este aeroporto com uma rede de hotéis, centro de convenções, centros comerciais, centros empresariais etc. é tratada como uma tendência e não apenas uma opção. Ainda sobre esta tendência, introduz-se o conceito do “APM multifuncional”, no qual o transporte de bagagem deve ser considerado como parte integrante da comodidade dos usuários (MILLER, BURLESON e KAPALA, 2005).

O Aeroporto Internacional de São Paulo em Guarulhos é um caso nacional de estudo de implementação de APM no Brasil. Lourenço (2003) mostra um estudo voltado à expansão do aeroporto e propõe a aplicação de sistemas APM para minimizar os transtornos causados pelo fluxo de passageiros entre os terminais de embarque durante as locomoções internas e as conexões de voos. Para o bom funcionamento deste APM é necessário que os meios de transporte externos tenham coordenação com o mesmo, nestes incluem-se táxis, metrôs, ônibus, trens, automóveis (estacionamentos), etc. Durante a implementação de um APM, deve-se considerar expansões e prever saturações de tráfego. No caso de Guarulhos a previsão feita é que a saturação ocorrerá em 2024, já contando com as expansões previstas.

2.5.1 Características de um sistema APM

Existem várias composições de sistemas APM, dependendo do tipo de veículo e de seu sistema de tração. Uma configuração básica é composta por:

- Veículo.
- Sistemas de Propulsão e Frenagem.
- Equipamentos Elétricos.
- Estações.
- Guias, trilhos ou percursos.
- Segurança.
- Sistemas de Emergência.

- Sistemas de Verificação e Demonstração.

- Operação, manutenção e treinamento.

- Monitoramento Operacional.

Questões relacionadas a cada um dos itens anteriores, tais quais bom funcionamento, produtividade e segurança, são descritas nos diversos itens e subitens da norma APM elaborada pela *American Society of Civil Engineers* (ASCE, 2013a).

Para que o APM opere de forma satisfatória, alguns itens devem ser observados, dentre eles:

- Ambiente de operação: Condições ambientais do local de operação devem ser consideradas de acordo com os registros históricos para a região.

- Requisitos de segurança: Por se tratar de transporte de vidas humanas, cuidados adicionais de segurança devem ser tomados com a finalidade de evitar falhas.

- Confiabilidade do sistema: É definido pelo número de horas de operação do sistema dividido pelo número de falhas ocorridas neste período.

- Controle automático do trem (ATC - *Automatic Train Control*): Trata do controle automático do veículo, das proteções e dos sistemas de supervisão.

- Comunicações áudio visuais: Relativo aos sistemas de comunicação para interagir com os usuários ou monitorá-los, tanto dentro dos veículos como nas estações. As informações podem ter caráter informativo como também alertas de segurança.

2.5.2 Configurações típicas de linhas APMs.

Os sistemas de controle dos APMs vão depender da forma com que as guias ou percursos estão dispostos. Na Figura 2.9.a até Figura 2.9.d, tem-se alguns exemplos de percursos lineares. Quanto mais possibilidades de percurso, mais flexíveis os modos de operação do APM, por outro lado, há um aumento da complexidade na operação. Em

sistemas fechados, como por exemplo, os de aeroportos, é possível interligações em anel ou condensadas como visto na Figura 2.9.e até Figura 2.9.g (LEA+ELLIOT, 2010).

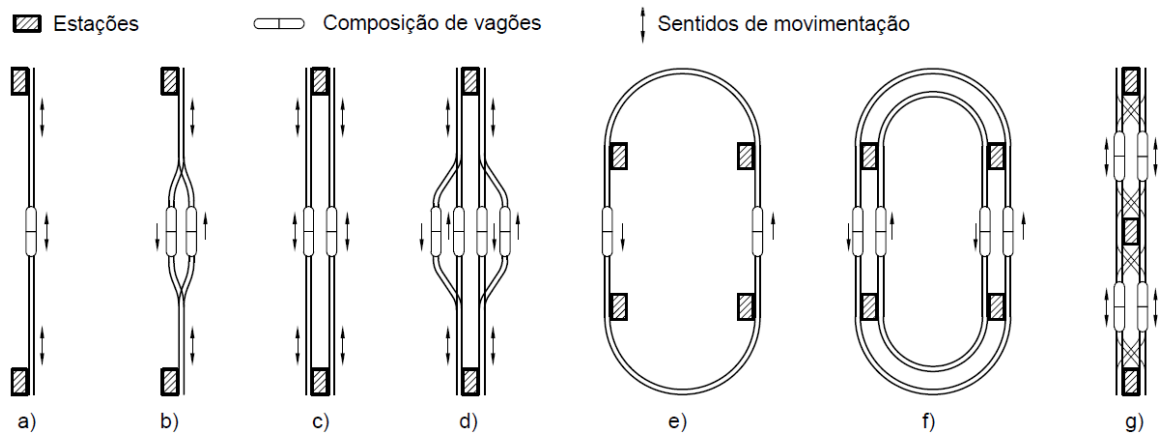



Figura 2.9 – Percursos lineares: a) Simples; b) Simples com *bypass*; c) Duplo; d) Duplo com *bypass;* Percurso em anel e condensado: e) Anel; f) Anel duplo; g) Condensado.

3 Descrição dos componentes do veículo MagLev-Cobra

Grande parte dos projetos de engenharia possui uma enorme complexidade. São muitos os componentes envolvidos, em geral, tem-se uma "espinha dorsal" do projeto que é composta por componentes essenciais para seu funcionamento e, associadas a esta, estão os componentes secundários que dão suporte aos componentes principais. Neste capítulo serão descritas as principais partes que compõem o veículo MagLev-Cobra, sendo elas: estrutura geral, característica modular, motor de indução linear, contribuição do motor linear na levitação, criostatos de levitação, linha de testes elevada, inversores de frequência e rede de comunicação.

3.1 Estrutura geral do MagLev-Cobra

A proposta do MagLev-Cobra é a conexão de vários módulos curtos, com a finalidade de formar um veículo altamente articulado e adaptado aos contornos urbanos. Por este motivo, todos os módulos são praticamente iguais, facilitando a modularidade e flexibilizando na construção de veículos com capacidades compatíveis com as necessidades de demanda.

O MagLev-Cobra é um veículo leve devido à ausência de rodas e também, à ausência de caixas de redução, ambas tipicamente muito pesadas. O veículo possui dimensões reduzidas, sendo a seção externa de aproximadamente 2,8 m x 2,8 m e a interna de 2,4 m de altura por 2,51 m de largura. Pesando em média 525 kg, cada módulo tem 1,5 m de comprimento e é capaz de transportar até treze passageiros (≈ 950 kg). Na concepção inicial, o motor linear é distribuído ao longo de cada módulo, proporcionando uma boa distribuição de peso e facilitando sua acomodação sob o

assoalho.

Os trilhos são compostos de ímãs permanentes de Nd-Fe-B encaixados lado a lado continuamente por todo o trajeto. Sobre estes trilhos levitarão criostatos de alumínio que abrigam internamente os supercondutores que são refrigerados com nitrogênio líquido (STEPHAN, ANDRADE, *et al.*, 2008).

3.2 Característica modular

A Figura 3.1 apresenta os módulos intermediários e os módulos cabines do MagLev-Cobra. Embora os formatos sejam diferentes, os dois módulos apresentados possuem as mesmas características e funcionalidades. As configurações elétricas e mecânicas são idênticas para todos os módulos.

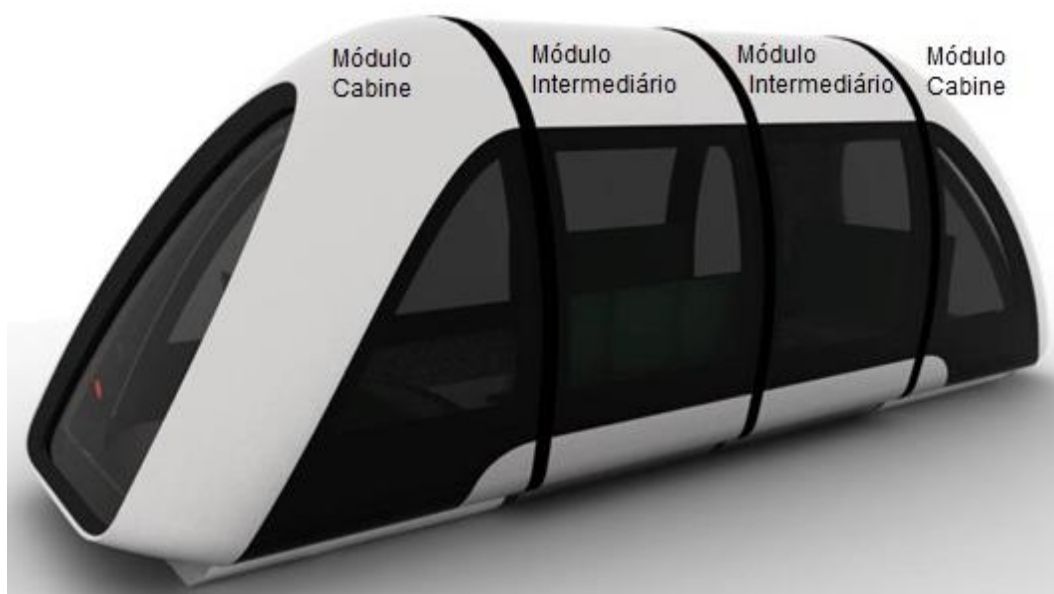



Figura 3.1 – Veículo MagLev-Cobra composto por quatro módulos, dois intermediários e dois do tipo cabine.

3.3 Motor de Indução Linear

O veículo MagLev-Cobra é composto por vários módulos (vagões), cada um

destes possui um primário curto responsável por sua tração e frenagem. Os módulos funcionam de forma independente, porém sincronizada. O sincronismo é alcançado por sinais de controle proveniente de sensores instalados na composição e atuam nos inversores de cada motor. As características do motor linear do MagLev-Cobra são apresentadas na Tabela 3.1 (CHABU e GOMES, 2009).

Tabela 3.1 – Dados de placa do Motor de Indução Linear do MagLev-Cobra.

Motor de Linear de Indução trifásico EQUACIONAL	
DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO	Motor Linear
FABRICANTE	Equacional
MODELO	EALP – 1000 / 6
FORÇA	900 N
POTÊNCIA*	10 CV*
TENSÃO PRIMÁRIA	420 V – Y
CORRENTE PRIMÁRIA	53 A
FREQÜÊNCIA	25 Hz
Nº DE PÓLOS	6
VELOCIDADE	7,8 m/s
PASSO POLAR	0,1656 m
CLASSE DE ISOLAÇÃO	H
PROTEÇÃO	IP 00

* Cálculo da potência: Velocidade do motor = 7,8 m/s; força = 900 N; 1 CV = 735 W; Potência=(7,8*900)/735 ≅ 10 CV

A Figura 3.2.a mostra primário do motor linear. Este é composto por 54 bobinas com 13 espiras cada e o condutor utilizado é de cobre e possui formato retangular de 1,3x9,2 mm. O primário possui 6 polos com 3 bobinas por polo, como pode ser visto na Figura 3.2.b. Com comprimento de 1,27 m, o primário curto é compatível com as dimensões do MagLev-Cobra. Este pequeno comprimento faz com que o veículo seja bastante flexível quanto à capacidade de fazer curvas e de fazer transições entre planos horizontais e planos inclinados. O secundário possui um núcleo de ferro laminado no qual se encaixam barras de alumínio de 12,7 mm x 12,7 mm, ligadas a uma barra de curto circuito de 12,7 mm x 25,4 mm (Figura 3.2.c).

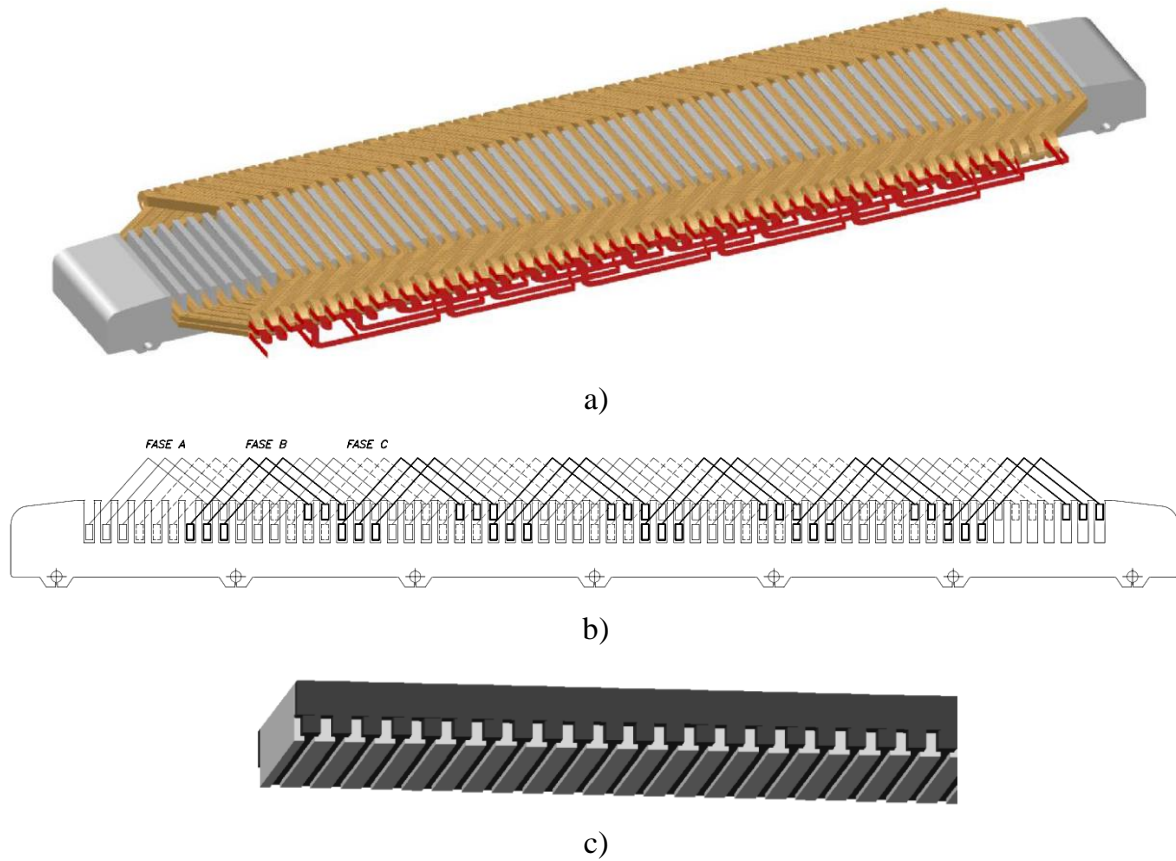



Figura 3.2 – Motor linear do veículo MagLev-Cobra; a) primário curto; b) ligação das bobinas; c) secundário ou linor.

3.4 Topologia em "C" do motor linear e sua contribuição na levitação

O motor linear do MagLev-Cobra foi idealizado para fazer com que a força de atração entre o primário e o secundário auxilie na levitação do veículo. Isso é feito como forma de aproveitamento do efeito atrativo do motor. A topologia em que o secundário está fixo sobre o primário do motor é vista na Figura 3.3. A direção e sentido da força longitudinal é mostrada na Figura 3.3.a. A Figura 3.3.b mostra o encaixe das duas partes do motor e a direção e sentido da força de atração.

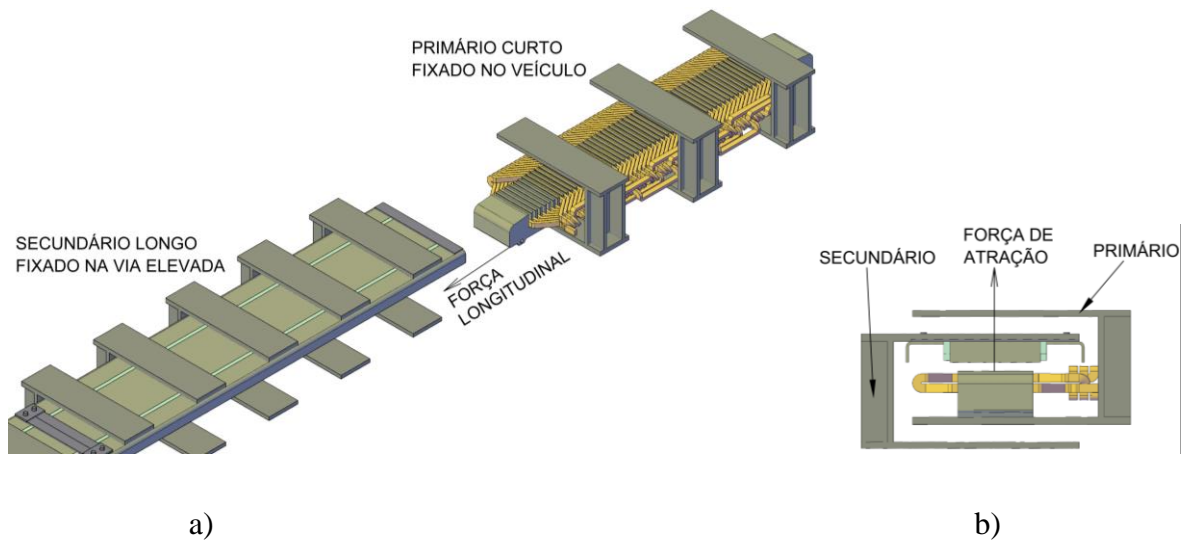



Figura 3.3 – Posicionamentos do primário e secundário de acordo com a topologia projetada. a) força de tração; b) força de atração.

Nesta configuração existem dois limitadores de movimentação vertical. A roda de segurança do criostato impede que o mesmo toque o trilho de ímãs, evitando que seja danificado. O primário do motor linear também possui rodas de segurança, que servem para impedir o contato entre primário e secundário (Figura 3.4).

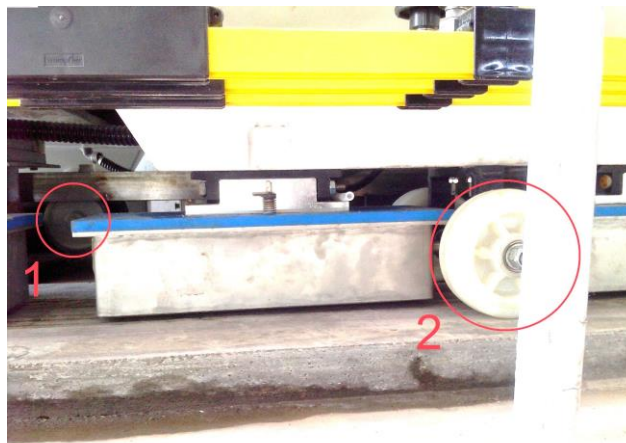



Figura 3.4 – Rodas de segurança: 1- Roda de segurança do motor, impede o contato entre primário e secundário; 2- Roda do criostato, impede o contato do criostato com o trilho de ímãs.

A força de atração entre primário e secundário do motor linear diminui com o aumento do comprimento do entreferro e cresce com o aumento da corrente do primário, portanto, quando o veículo está mais carregado, a tendência é o crescimento do entreferro, diminuindo o auxílio do motor na levitação, mas, se nestas condições, houver um incremento de força no motor, o aumento de corrente nas bobinas fará com

que haja uma elevação na força de atração. Para determinar a ordem de grandeza destas forças é prudente que se façam ensaios em campo, mas sabe-se que, pela forma construtiva do motor, estas forças se somam as forças de levitação, diminuindo o entreferro e melhorando o desempenho do motor linear. A Figura 3.5 mostra o comportamento da corrente em função do entreferro (CHABU e GOMES, 2009).

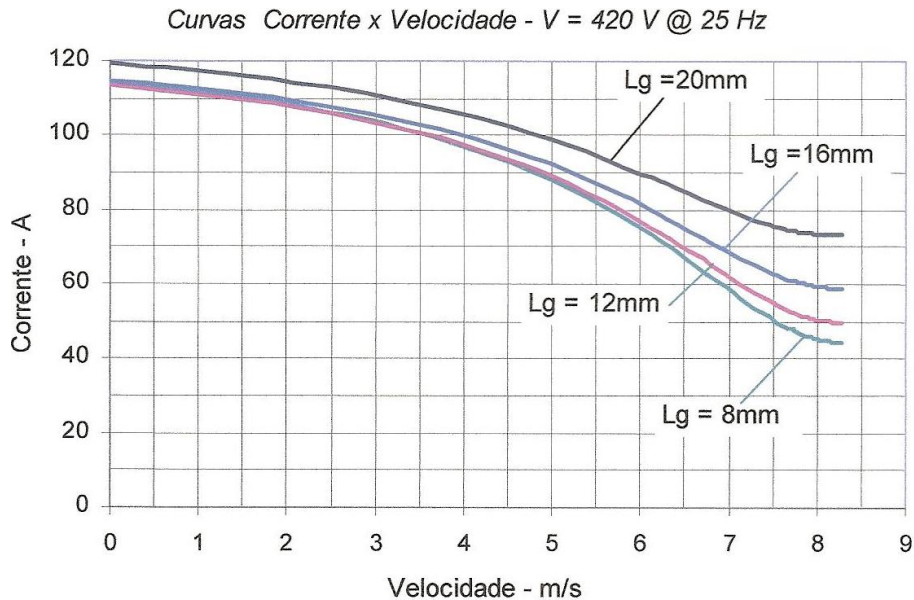



Figura 3.5 – Curvas de corrente x Velocidade para vários entreferros.

Com as argumentações descritas neste item, percebe-se que o posicionamento estratégico do secundário (parte fixa) sobre o primário, tem como ponto principal aproveitar a força de atração entre as partes do motor para auxiliar na levitação, lembrando novamente que não há controle de levitação na técnica SML.

3.5 Criostatos utilizados na levitação magnética

A levitação magnética do MagLev-Cobra se dá através da utilização de criostatos que utilizam supercondutores HTS que levitam sobre trilhos de ímãs permanentes de Nd-Fe-B. Os criostatos podem ser refrigerados com nitrogênio líquido, pois as características do supercondutor HTS utilizado, permitem uma boa capacidade de levitação com a temperatura de resfriamento em torno de -196°C/77K (temperatura negativa alcançada com nitrogênio líquido - LN_2). Os supercondutores HTS foram um avanço na levitação magnética por virem a substituir os LTS (*Low Temperature*

Superconductor), que possuem uma temperatura crítica menor que -196°C(77K). Os supercondutores do tipo LTS necessitam de resfriamento alcançado com, por exemplo, o hélio líquido (-269°C; 4K) que é bem mais caro que o nitrogênio. Outra vantagem na utilização do HTS se dá pela facilidade de construção do criostato, devido ao isolamento térmico ser de menor complexidade por causa da temperatura mais alta (GREEN, 2001) . Algumas das características dos criostatos utilizados no MagLev-Cobra são apresentadas na Tabela 3.2 (WERFEL, DELOR, *et al.*, 2011).

Tabela 3.2 – Características dos criostatos do MagLev-Cobra.

Criostato a Vácuo / Aço / Cobre / YBCO	
Geometria	440 mm x 120 mm x 180 mm
YBCO blocos supercondutores	2 x 12 peças (64x32x13 mm)
Área HTS	492 cm²
Resfriador (*Cooling*)	$LN_{2,}$ capacidade 2,5 l
Autonomia	24:00 h-30:00 h, estático
Peso do criostato	~17 kg
Levitação	~2500 N, gap 5 mm
Densidade de força	~5 N/cm², gap 5 mm

Os criostatos possuem blocos supercondutores do tipo YBCO (sigla usada para a cerâmica $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$). O acondicionamento dos blocos supercondutores YBCO (*Bulk HTS*) dentro do corpo de aço inoxidável é mostrado na Figura 3.6. Nesta figura, pode-se, ainda, identificar o compartimento de nitrogênio líquido, a isolação, o suporte, o conector de vácuo e o tubo de abastecimento de nitrogênio líquido (SOTELO, 2004).

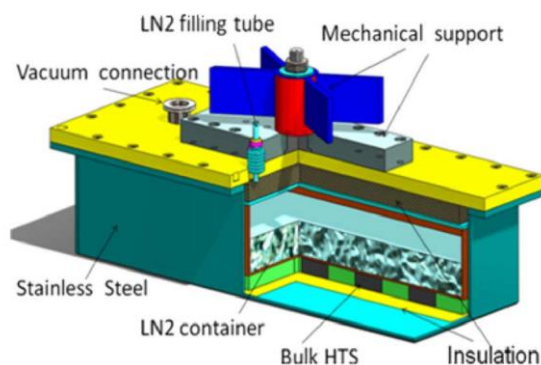



Figura 3.6 – Criostato utilizado no MagLev-Cobra, figura extraída de WERFEL, DELOR, *et al.* (2011).

3.6 Linha de testes elevada, estrutura tubular de sustentação, lajes e trilho de ímãs

Os trilhos do veículo MagLev-Cobra são compostos de ímãs e barras de aço intercaladas. Existem diversas configurações de tamanhos e arranjos de ímãs e barras que propiciam forças magnéticas nas guias para o veículo MagLev. De acordo com o arranjo, a orientação das linhas de força auxilia de forma diferente a estabilidade e o poder de levitação. Há estudos buscando encontrar a configuração ótima destes componentes. A Figura 3.7 mostra algumas formações testadas para determinar a melhor configuração a ser utilizada no MagLev-Cobra (MOTTA, 2011).

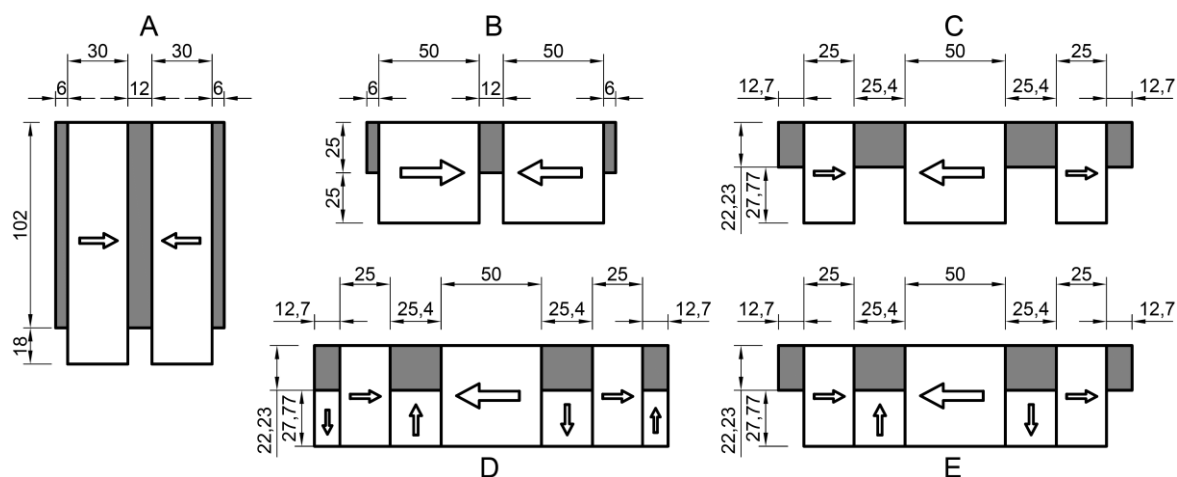



Figura 3.7 – Corte transversal da configurações de ímãs testadas no LASUP. Em cinza as barras de aço e em branco os ímãs. Medidas em milímetros. Adaptada de SOTELO, DIAS, *et al.* (2011).

Dentre as configurações testadas, as que apresentaram melhores resultados foram as D e E. Nos testes de força de levitação, a configuração D tem um acréscimo de 4% de força comparada com a configuração E, em contrapartida, a configuração E proporciona uma economia de material de 11% se comparada com a D e; também, facilita a montagem dos trilhos (SOTELO, DIAS, *et al.*, 2011). Embora este estudo aponte para a escolha técnica da configuração D, a linha de teste interligando os prédios CT-I e CT-II da COPPE utiliza a configuração E, devido ao fato dos ímãs já terem sido adquiridos com as dimensões compatíveis com esta montagem e por motivos de economia.

Após a escolha da configuração transversal, os ímãs são montados longitudinalmente de forma contínua sobre lajes de concreto com características parecidas com as utilizadas em passarelas de pedestres. A utilização deste tipo de laje é possível porque, no caso do MagLev-Cobra, os esforços sobre a estrutura são distribuídos uniformemente ao longo do comprimento veículo. Esta é uma grande vantagem do MagLev-Cobra sobre os trens convencionais, pois resulta em uma economia considerável com relação às obras civis.

Os testes iniciais do veículo MagLev-Cobra foram sobre trilhos de ímãs montados sobre duas vigas de 0,2m x 2,5m x 6,0m. A Figura 3.8 mostra uma ilustração da montagem dos trilhos de ímãs sobre as lajes de concreto.

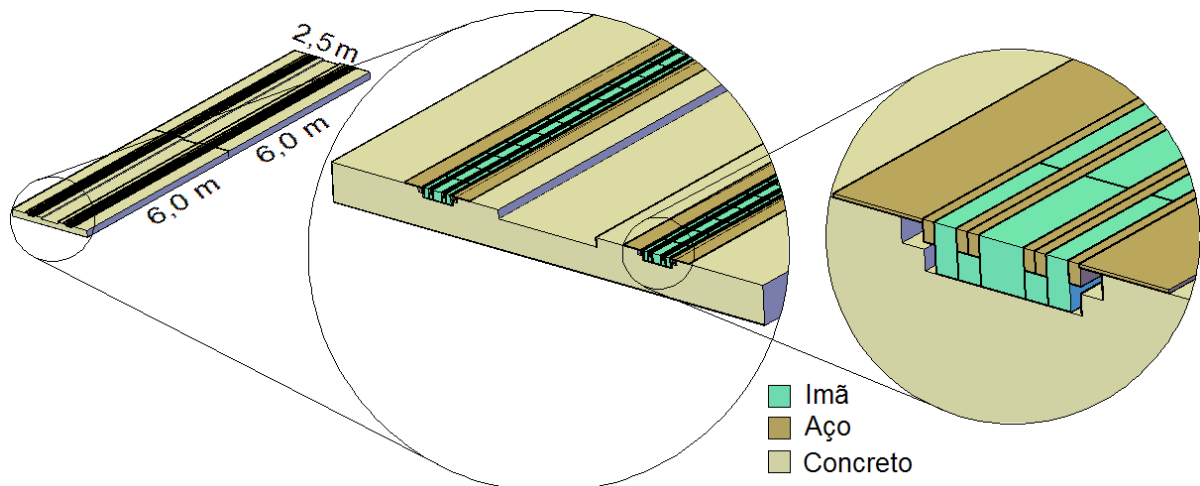



Figura 3.8 – Lajes de concreto e detalhes da montagem dos ímãs.

3.7 Inversores de frequência para acionamento dos motores lineares

Para transporte de passageiros são necessárias transições suaves nas condições de movimento do veículo. A suavidade das transições está diretamente relacionada com o conforto do usuário. Este conforto é imprescindível para atrair usuários e tornar o transporte economicamente viável. Por outro lado, devem-se fazer as mudanças de

estado (parado/velocidade nominal/parado) em tempos mínimos possíveis para impor agilidade no transporte, reduzir tempo de viagem e consequentemente, aumentar o número de viagens diárias, acarretando um melhor aproveitamento da via.

Em motores de corrente alternada, pode-se tornar o arranque e a frenagem mais agradáveis ao usuário através de rampas de aceleração e desaceleração, implementadas a partir de inversores de frequência. O modelo CFW-11 WEG foi escolhido para fazer o acionamento dos motores lineares responsáveis pela propulsão do MagLev-Cobra. As principais características do inversor CFW-11 WEG, utilizado, são apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Dados de placa do inversor CFW-11 V2.04 Mecânica D

Modelo:	BRCFW110088T4SZ		15/12/2009
Mat:	10193868	Serial:	# 1006386532
OP	13249402	Max. TA:	50°C(122°F)
Peso:	32,6kg		

	Rede	Saída
VAC	380 – 480V /3Ø	0-Rede /3Ø
A(ND)*	88A	88A
60s/3s		96,8A/132A
A(HD)**	73A	73A
60s/3s		109,5/146A
Hz	50/60Hz	0-300Hz

* ND – Condição de sobrecarga

** HD – Condição de alta sobrecarga

O inversor conta com duas entradas analógicas, duas saídas analógicas, seis entradas digitais, três saídas digitais do tipo relé e uma fonte CC de 24 V. O mesmo possui ainda, um PLC (Controlador Lógico Programável, do Inglês, *Programmable logic controller*) interno (WEG, 2013a). O controle e sincronização dos motores lineares podem ser feitos através destas entradas e saídas, porém, quando há um grande número de módulos acoplados, o cabeamento necessário e o controle tornam-se muito complexos. Por este motivo, a comunicação entre os inversores é feita através de uma rede RS485 Modbus-RTU.

3.8 Sistema de comunicação interligado MODBUS-RTU RS485

Os sistemas de comunicação dos dispositivos de controle são imprescindíveis para o bom funcionamento de todos os componentes de hardware que gerenciam ou controlam o MagLev-Cobra. O meio físico escolhido para interligar os controladores, drives (inversores CFW-11), IHMs, sensores e atuadores foi o RS485. O protocolo de comunicação Modbus RTU (*Remote Terminal Unit*) é utilizado sobre esta rede por ser de alta confiabilidade e devido aos dispositivos do sistema possuírem suporte para esta configuração Modbus RTU sobre RS485. A Figura 3.9 mostra a rede física do MagLev-cobra. Onde: PLC-1 e PLC-2 são os cartões de controladores lógicos programáveis que se acoplam aos inversores de frequência CFW-11; TPW-CPU1 e TPW-CPU2 são controladores lógicos programáveis do tipo TPW-03 WEG, responsáveis pelos monitoramentos de altura de levitação, temperatura dos criostatos e acionamento das válvulas de enchimento de LN_2 dos criostatos; IHM-1 e IHM-2 são as interfaces homem máquina instaladas nos módulos de extremidade; CORREVIT é o sensor de velocidade *Correvit ® L-350Aqua*; AIRGATE-1 e AIRGATE-2 fazem a interligação sem fio entre o veículo e a central de controle; IHM-3 é a as interface homem máquina instalada na central de controle. A central de controle, conta ainda, com uma central de câmeras e um computador.

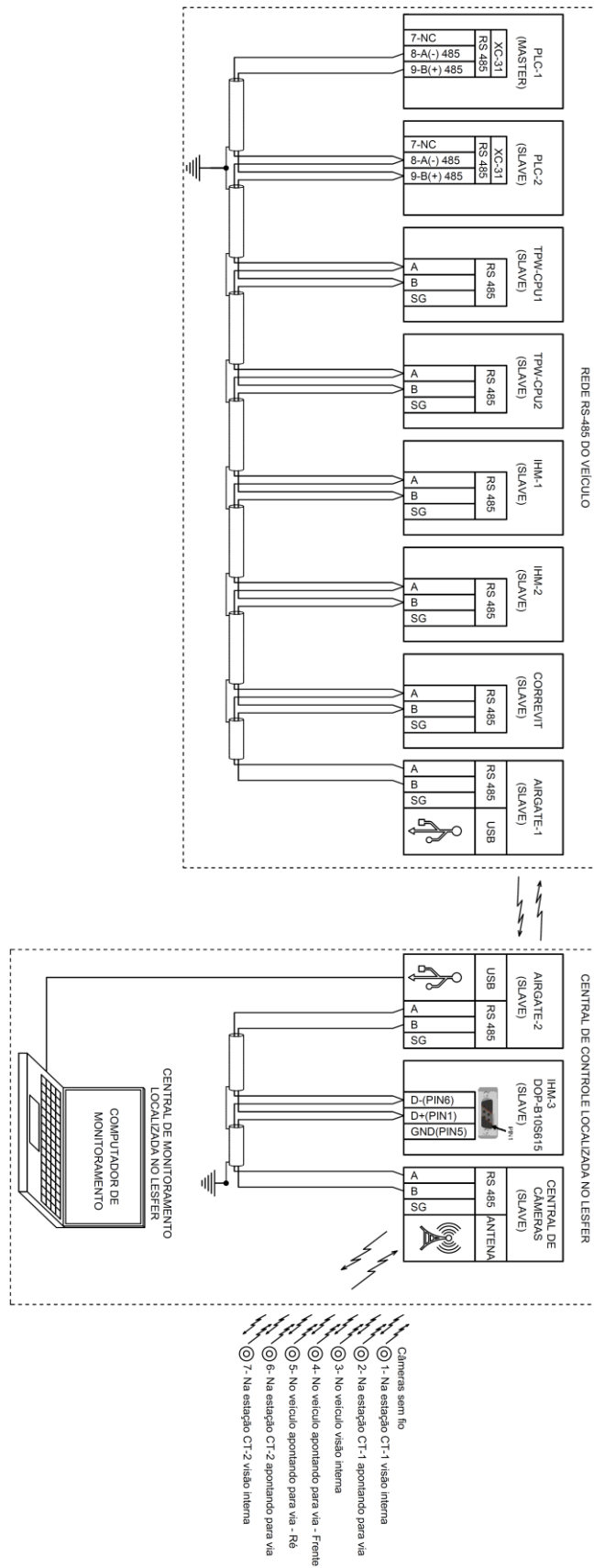



Figura 3.9 – Rede física RS485.

3.9 Considerações parciais

A estrutura geral do MagLev-Cobra difere, em muito, dos trens convencionais e, também, de outros veículos de levitação que utilizam tecnologias diferentes da levitação magnética supercondutora. Trata-se de uma nova concepção em transporte, na qual a robustez dá lugar à leveza e as rodas dão lugar à levitação.

O desenvolvimento de novos componentes tecnológicos como, por exemplo, os estruturais do veículo, o motor, o trilho e os criostatos, só foi possível apoiado na ciência e no trabalho conjunto entre universidade e iniciativa privada. A integração harmoniosa dos componentes é fruto de pesquisa e implementações constantes, em que os diversos ramos da engenharia convergem para a criação de um produto final agregando tecnologia e ciência.

A utilização de tecnologias “prontas” em parte do projeto é necessária para aumentar a robustez em sistemas que não necessitam de desenvolvimento para esta aplicação. Os inversores, controladores, sensores e sistemas de comunicação existentes no mercado atendem às necessidades do projeto e já estão suficientemente testados para garantir estabilidade, segurança e funcionalidade ao sistema como um todo.

4 Infraestrutura elétrica

Neste capítulo, serão abordados os requisitos técnicos e operacionais para tração do MagLev-Cobra, para isso, fez-se necessário conhecer os componentes principais do sistema, a planta do MagLev-Cobra é abordada na seção 4.1 e no Apêndice C.

O detalhamento dos principais sensores e suas funcionalidades dentro do processo serão abordadas na seção 4.2. Estes sensores guiam e monitoram o veículo no trajeto (seção 4.5) instalado no campus da COPPE, na ilha do Fundão.

O motor linear utilizado possui características particulares que devem ser investigadas para que a tração seja otimizada, tornando possível extrair o melhor desempenho do conjunto. Na seção 0 é mostrada a relação da força do motor linear com o carregamento do vagão que este traciona. Como a força é variável com o carregamento e o carregamento não é uniformemente distribuído pelo veículo, aspectos de controle da tração devem ser investigados para casos particulares de operação. Neste estudo, serão considerados dois módulos acoplados rigidamente e com trações independentes. Loaiza (2010) mostrou que o acoplamento rígido entre os módulos do trem é a melhor opção se comparado com um acoplamento flexível (borracha sanfonada).

4.1 Planta idealizada para o MagLev-Cobra

A planta do MagLev é composta por um grande número de sensores, controladores e atuadores. O funcionamento harmônico entre estes dispositivos é fundamental para que o funcionamento do veículo seja seguro e confortável. A Tabela 4.1 mostra os componentes de automação e controle do MagLev-Cobra. A planta com o posicionamento destes sensores e atuadores é apresentada no Apêndice C.

Tabela 4.1 – Principais componentes de sensoriamento, comando e controle do MagLev-Cobra

Componente	Descrição	Função
TPW-CPU 1	Controlador lógico programável(PLC) WEG (modelo TPW-03 60HR-D)	Responsável pelo monitoramento de temperatura dos criostatos, altura de levitação e comandos do operador e fins de curso
TPW-CPU 2	Controlador lógico programável(PLC) WEG (MODELO TPW-03 60HR-D)	Responsável pelo monitoramento de temperatura dos criostatos, altura de levitação e comandos do operador e fins de curso
TPW-A1, TPW-A2, TPW-A4, TPW-A5	Cartões de entradas analógicas WEG (modelo TPW-03 8AD)	Leitura de temperatura dos criostatos
TPW-A3, TPW-A6	Cartões de entradas analógicas WEG (modelo TPW-03 8AD)	Leitura dos sensores de altura de levitação
TT-XX	Transmissor de temperatura Wika (modelo 102-3T-F-CND)	Transdutor de temperatura que faz a interface entre o termopar e o PLC
VS-XX	Válvula solenoide normalmente fechada asco (modelo 8263-205LT)	É o atuador que permite e bloqueia o enchimento/ dos criostatos com nitrogênio líquido.
TERM-XX	Termopar tipo "T"	Responsável por medir a temperatura de operação dos criostatos
SU-XX	Sensor de distância ultrassônico (modelo bus M18K0-XAER-040-S92K)	Mede a altura de levitação
Correvit L350	Sensor de velocidade e distância	Medição de velocidade e distância (estimação de aceleração e posição)
FC-X	Fim de curso mecânico	Sensores mecânicos para informação de proximidade do veículo com as estações (redundante com o sensor de posição correvite L350)

Componente	Descrição	Função
FCE-X	Fim de curso mecânico de emergência	Sensores mecânicos para informação de freio de emergência (redundante com o sensor de posição correvite L350)
0V-REFERÊN.	Tensão de referência do barramento CC	Referência para a alimentação CC do veículo
534V-CIRC.1	Circuito 1 do barramento CC – 534 VCC	Tensão de alimentação CC do veículo
0V- TERRA	Barramento de terra	Barramento para aterramento do motor linear e componentes em geral
CFW-1	Inversor de frequência do motor linear 1 (modelo CFW11)	Inversor de frequência para a tração do módulo 1
CFW-2	Inversor de frequência do motor linear 2 (modelo CFW11)	Inversor de frequência para a tração do módulo 4
PLC-1	Módulo PLC integrado ao CFW-1 (softplc interno)	Faz a sincronização dos comandos de "JOG", "sentido de giro" e "referência de velocidade " dos inversores CFW
PLC-2	Módulo PLC integrado ao CFW-2 (softPLC interno)	Faz a sincronização dos comandos de "JOG", "sentido de giro" e "referência de velocidade " dos inversores CFW
MOTOR 1	Motor de indução linear 1 (fabricação Equacional) instalado no módulo 1	Tração do veículo
MOTOR 2	Motor de indução linear 2 (fabricação Equacional) instalado no módulo 4	Tração do veículo
FCPA-X	Fim de curso de porta aberta	Monitoramento da posição de porta totalmente aberta
FCPF-X	Fim de curso de porta fechada	Monitoramento da posição de porta totalmente fechada

Componente	Descrição	Função
24VCC - 1	Tensão de 24 V em corrente contínua vinda do banco de baterias 1	Tensão disponível no banco de baterias (duas baterias) presentes no módulo 1
24VCC - 2	Tensão de 24 V em corrente contínua vinda do banco de baterias 2	Tensão disponível no banco de baterias (duas baterias) presentes no módulo 4
PART-X	Botão para dar partida ao veículo	Botão mecânico para partida do veículo (redundante nos consoles de comando dos módulos 1 e 4)
PARA-X	Botão para parar o veículo	Botão mecânico para parada do veículo (redundante nos consoles de comando dos módulos 1 e 4)
ABRE-X	Botão para abertura de portas	Botão mecânico para abertura de portas (redundante nos consoles de comando dos módulos 1 e 4)
FECH-X	Botão para fechamento de portas	Botão mecânico para fechamento de portas (redundante nos consoles de comando dos módulos 1 e 4)
EMER1-X	Botão de emergência do operador	Botão mecânico de emergência com trava mecânica (redundante nos consoles de comando dos módulos 1 e 4)
AM-X	Chave seletora entre os comandos automático e manual	Na posição automático o veículo segue programação normal. Na posição manual, o veículo é comandado por pulsos de "JOG" em baixas velocidades
COM-X	Botão "COMUM"	Tem a função de exigir duplo comando para operação do veículo (ou "comando a duas mãos")

Componente	Descrição	Função
DIR.CT1-X	Botão de "JOG" na direção CT-II-CT-I	Botão de operação do veículo em modo manual na direção CT-I (seu acionamento está associado ao acionamento simultânea do botão com-x)
DIR. CT2-X	Botão de "JOG" na direção CT-I-CT-II	Botão de operação do veículo em modo manual na direção CT-II (seu acionamento está associado ao acionamento simultâneo do botão com-x)
CONS.-X	Dispositivo acionado por chave	Dispositivo operado por "trancamento e destrancamento" do console de comandos. Os consoles estão intertravados por contato físico. Só operam individualmente. Caso os dois estejam acionados simultaneamente o veículo não irá operar e um alarme indicando esta condição deverá soar na IHM.
EM243-X	Driver para motores de porta(modelo EM243A 12-43 V 50 A).	Responsável pelo comando de dois motores de porta em paralelo. Um motor para cada folha de porta.
IHM-X	Interface homem máquina de tela sensível ao toque	Responsáveis por monitoramento, interface com o operador e comandos não operacionais.

Obs.: A letra "X" ao final do nome do componente está reservada ao número que será dado a cada um.

4.2 Instrumentação, sensoriamento e monitoramento

Para uma operação segura do veículo são necessários monitoramentos

constantes e robustos das suas condições de funcionamento, bem como redundâncias nos procedimentos de emergência. Conhecer profundamente as características da operação da planta é primordial para uma operação segura e confortável ao usuário. Este conhecimento é alcançado através de sensoriamento e tratamento de informação. Preliminarmente, serão necessários três tipos de sensoriamentos: velocidade, altura e posição. A carga de cada módulo pode ser estimada através do sensor de altura.

Para o controle de velocidade, será utilizado um sensor de testes automotivos, que determinará com precisão a velocidade instantânea do veículo Este sensor possui alta precisão e confiabilidade (LÓPEZ, SILVA e RUIZ, 2014). A Figura 4.1 mostra o sensor modelo *Correvit® L-350 Aqua*, que está instalado no veículo. Este sensor opera por varredura óptica de uma superfície, determinando não somente a velocidade instantânea, mas podendo, também, integralizar a distância, determinando a posição do veículo.

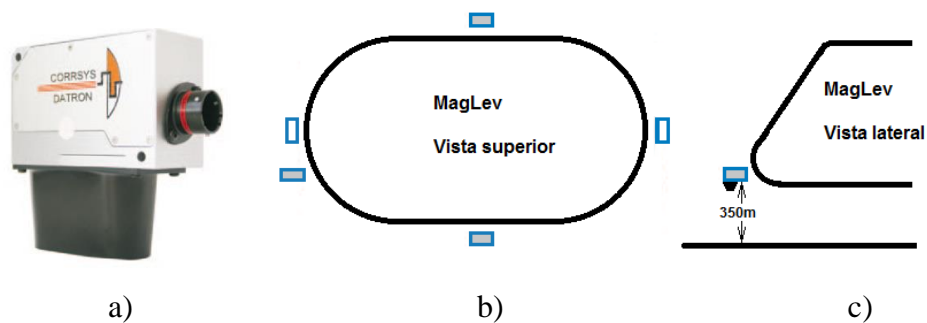



Figura 4.1 – Sistema de medição de velocidade; a) sensor *Correvit ® L-350Aqua*;b) possibilidades de posicionamento do sensor; c) altura operacional.

A medida da posição do MagLev é importante para a operação automática e para a tomada de medidas de segurança. Uma operação “agradável” ao usuário baseia-se na suavidade das transições de velocidade. Rampas de aceleração seguidas de velocidade de regime e, por último, uma rampa de desaceleração são as transições mínimas esperadas de um veículo de tração elétrica. Embora o *Correvit® L-350 Aqua* seja de altíssima precisão (resolução de 1,5 mm) (CORRSYS-DATRON, 2010), faz se necessário mais de um sistema de monitoramento de posição como forma de *backup*, pois, em caso de falha do monitoramento de posição embarcado no veículo, há uma perda de referência em solo, o que pode fazer com que o MagLev choque-se contra uma das plataformas de embarque, por “entender” que está distante da mesma. Portanto, referências da pista devem ser enviadas para o veículo de forma que haja uma

verificação de sincronismo entre a posição apurada pelo sensor embarcado e a real posição do MagLev.

O sistema para marcação de posição na via é bem menos preciso que o embarcado, pois se baseia no princípio de “fins de curso”, em que saliências metálicas atuam os sensores “fins de curso” presentes no veículo, indicando que a partir daquele local, deverão ser tomadas medidas para frenar o veículo independente da distância apurada pelo sensor de posição *Correvit® L-350 Aqua*. Esta parada pode ser em rampa de desaceleração, baseando-se na velocidade atual do trem. O mesmo sistema de marcação na via é adotado para a atuação do sensor de “fim de curso” de parada de emergência. Se o atuador da via acionar o sensor de emergência o protocolo de parada de emergência deve ser executado, parando o veículo imediatamente.

O modo de monitoramento proposto utiliza dois sensores, um de “aproximação” e um de emergência, em cada um dos módulos das extremidades. Na Figura 4.2, são mostrados os atuadores das chaves fins de curso presos ao secundário do motor linear.

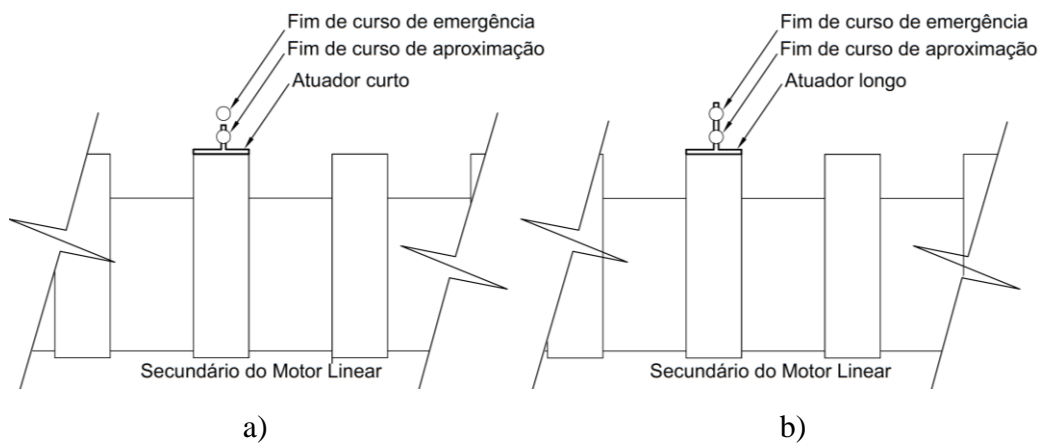



Figura 4.2 – Atuadores presos ao secundário do motor linear: a) atuador curto, toca apenas o sensor de aproximação; b) atuador longo, toca o sensor de aproximação e o de emergência (vista superior).

Além da posição e da velocidade é necessário monitorar a altura do veículo. Pois, o funcionamento do motor linear está diretamente ligado ao tamanho do entreferro entre o primário e o secundário. A Figura 4.3 mostra a relação entre o entreferro do motor linear e o *gap* dos criostatos.

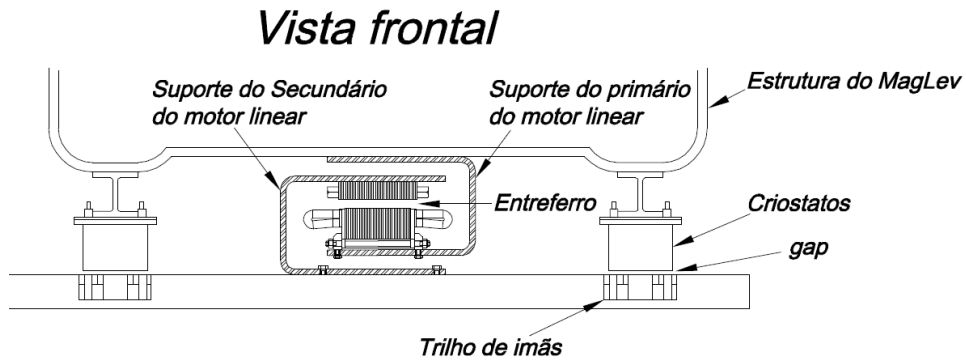



Figura 4.3 – Relação entre o entreferro do motor linear e o *gap* dos criostatos.

As características de força do motor variam em função do entreferro, portanto, monitorá-lo é fundamental para a tomada de decisões de controle. Outra finalidade da medição do entreferro é quanto ao monitoramento da altura de levitação. Um entreferro muito grande implica em um baixo *gap* de levitação, podendo ocorrer um contato físico entre os criostatos e o trilho de ímãs. O sensor utilizado neste monitoramento é o ultrassônico modelo BUS-M18K0-PWXER-040-S92K-BALLUFF (BALLUFF, 2015). A montagem deste sensor é mostrada na Figura 4.4, na qual as quatro extremidades de cada módulo serão monitoradas. Com essa montagem, o que está sendo medido é a distância do veículo ao solo, mas, a partir do valor encontrado, é possível estimar com certa precisão os valores do entreferro e consequentemente do *gap*, pois o incremento de um implica no decréscimo de outro, ou seja, quanto maior o entreferro, menor o *gap*. A condição inversa também ocorre, se o entreferro diminuir o *gap* irá aumentar.

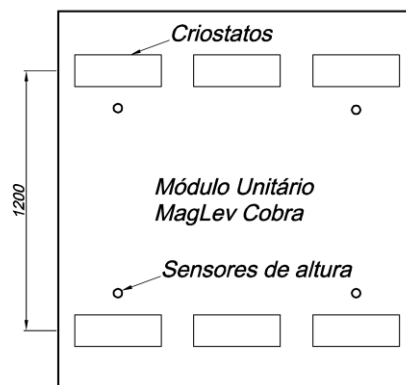



Figura 4.4 – Vista superior do posicionamento dos sensores de altura.

4.3 Sistemas de frenagens elétrica e mecânica

O MagLev-Cobra se difere dos trens convencionais principalmente por não possuir atrito entre veículo e via, sendo esta uma das suas principais vantagens. Porém, quando se trata de frenagem, a falta deste atrito é um complicador. Sistemas convencionais com travamento de rodas não se aplicam a este caso, portanto, métodos alternativos de frenagem devem ser utilizados. Estes métodos são: redução da frequência através de rampa de desaceleração, frenagem CC do inversor de frequência, frenagem CC a partir de um banco de baterias e frenagem mecânica.

O primeiro processo de frenagem é intrínseco ao funcionamento. O veículo é frenado com a redução da frequência de alimentação do motor, esta frenagem não chega a parar o veículo totalmente, provoca apenas a redução da velocidade, pois o motor de indução linear possui alto escorregamento devido ao seu grande entreferro e à inércia da composição. Neste caso, esta frenagem permite que o veículo continue se deslocando mesmo quando a rampa de desaceleração atinja frequência zero, principalmente no sentido CT-II para CT-I, onde existe declividade.

Ao final da rampa de desaceleração é possível aplicar um freio CC utilizando o inversor de frequência CFW-11, mas este é pouco eficiente. Os parâmetros do inversor determinam que a frenagem possa ser aplicada por no máximo 15 segundos e seu valor máximo seja de até 10% da tensão nominal do motor (WEG, 2013b). A frenagem CC do inversor além de pouco eficiente, deixa o veículo “solto” na estação após seu tempo programado. Outro problema deste sistema é que a perda de alimentação do inversor causa a perda imediata do freio.

Com a necessidade de freios mais eficientes, foi instalado um freio CC, no qual a energia é captada de um banco de baterias e injetada diretamente nas bobinas do motor linear. Para que este freio seja acionado, foi idealizado um sistema de intertravamento com contatores, que isola a alimentação vinda do inversor e a energia das baterias.

Por fim, um freio mecânico está apto a atuar em situações de emergência e, também, na “ancoragem” do veículo nas estações durante os processos de embarque e desembarque.

4.4 Estruturas de apoio: sala de controle

Um sistema APM completo necessita de uma central de controle. Nesta central ficam o operador e os sistemas de controle, monitoramento e intervenção do operador. Há uma previsão que a sala de controle seja alocada dentro do LESFER (sigla originada do antigo nome Laboratório de Estudos e Simulações de Sistemas Metroferroviários, o nome atual é Espaço Tecnológico Professor Amaranto Lopes Pereira). O LESFER localiza-se estrategicamente nas proximidades da estação CT-I e sua situação é mostrada na planta da Figura 4.5.

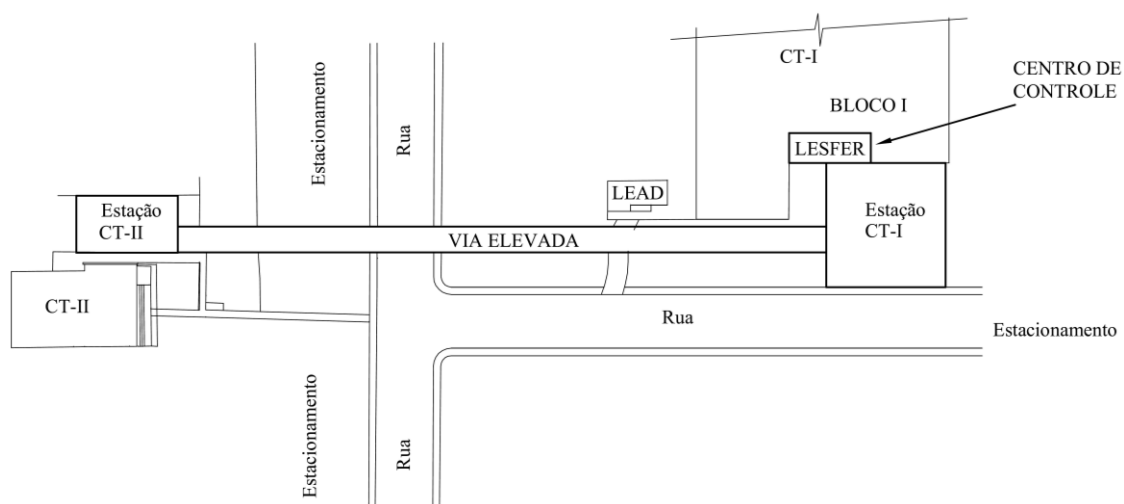



Figura 4.5 – Centro de controle localizado no LESFER, próximo à estação CT-I.

4.5 Trajeto e perfil propostos para linha de testes

As atividades do Laboratório de Aplicações de Supercondutores (LASUP) tiveram início no dia primeiro de setembro de 1998, por iniciativa do prof. Roberto Nicolsky, com a finalidade de atuar no estudo de materiais supercondutores e suas aplicações (LASUP, 2015). A levitação magnética supercondutora, utilizando supercondutores de alta temperatura crítica aplicada a veículos de transporte, teve seu êxito dentro do LASUP com o desenvolvimento da linha de testes em escala reduzida. O passo atual é a implementação da linha de testes em escala real ligando o Centro de Tecnologia I (CT-I), onde encontra-se o LASUP, e o novo centro de tecnologia (CT-II).

Trata-se de uma linha de 200 metros de comprimento com um desnível ascendente do CT-I para o CT-II de 2 metros. A Figura 4.6 e a Figura 4.7 mostram a vista superior do trajeto entre os centros de tecnologias e o corte transversal da linha, respectivamente (Imagem Google Earth).

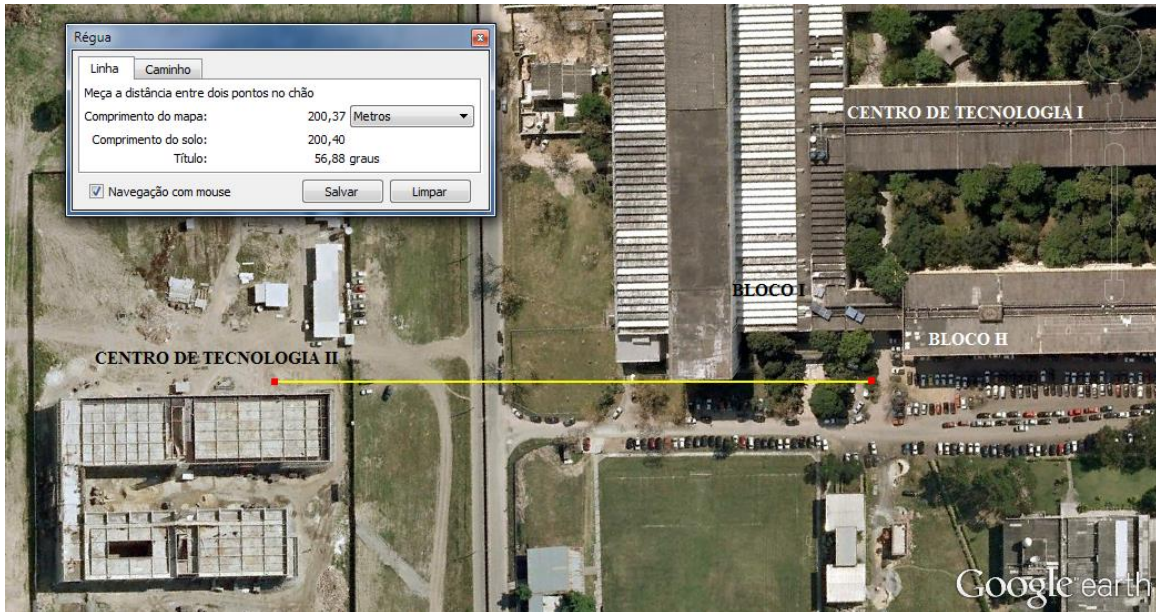



Figura 4.6 – Mapa com trajeto de 200 m ligando os centros de tecnologia I e II.

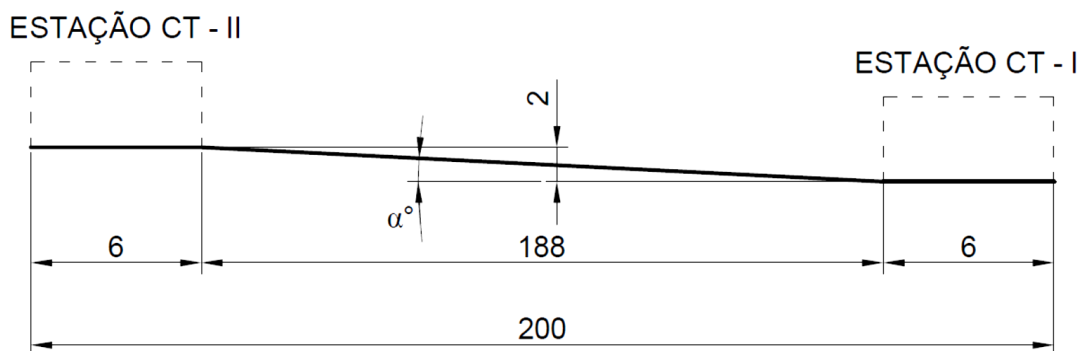



Figura 4.7 – Corte transversal da linha de testes. Valores em metros.

O ângulo α é determinado pelo arco tangente de 2/188 e vale aproximadamente 0,61°.

A linha de testes, contendo as duas estações e o trajeto, é apresentada na Figura 4.8. Na estação CT-I ficam o acesso ao bloco I, o café, a oficina de manutenção, o saguão de espera e as linhas de abastecimento de nitrogênio líquido. Na linha elevada de aço e concreto estão instalados os trilhos de ímãs, o secundário do motor linear e os barramentos de alimentação CC. A estação CT-II possui um saguão de espera e acesso ao centro de tecnologia II.

a) b) c)

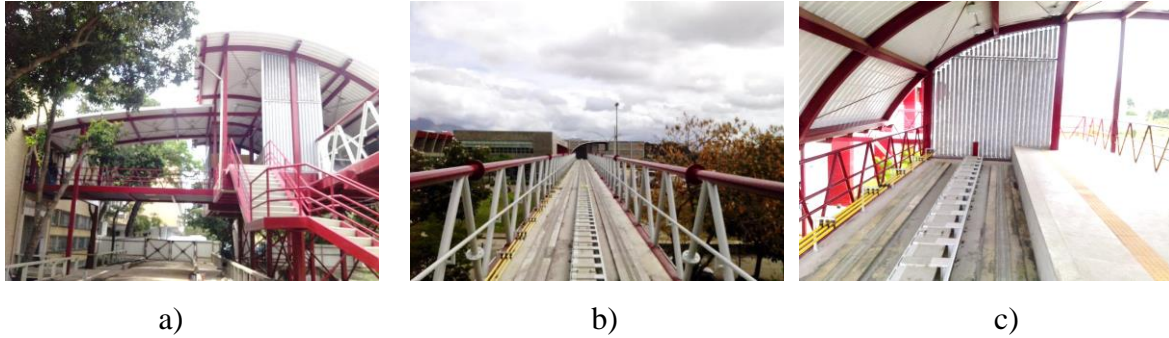



Figura 4.8 – Linha de testes: a) estação CT-I; b) linha elevada; c) estação CT-II.

4.6 Considerações parciais

A planta do MagLev-Cobra conta com sensores que monitoram grandezas imprescindíveis para a operação. O processamento destas informações se dá por controladores de mercado, pois os esforços estão voltados para o desenvolvimento de tecnologias específicas do veículo. A integralização das informações coletadas em campo ficam concentradas na sala de controle do LESFER.

5 Sincronismo dos motores lineares e ensaios dinâmicos

O veículo MagLev-Cobra é modular e, em cada módulo, está presente um motor linear independente. Estes motores possuem características idênticas, o que sugere que, em condições ideais, não haverá esforços no acoplamento localizado entre os módulos do veículo. Mas, sabe-se que, em operação, a carga não é distribuída uniformemente no MagLev, isso faz com que apareçam esforços na conexão intermodular. Estes esforços podem causar sobrecarga em algum motor e, também, desgaste dos acoplamentos. Nesta seção são feitos estudos para determinar a melhor maneira de operação do MagLev-Cobra, no tocante a minimização de esforços no engate modular ou na transferência de cargas de um motor para outro.

A automação do veículo MagLev-Cobra depende fundamentalmente do controle da sua movimentação, fato que confere ao presente capítulo importância central nesta tese.

Três estratégias de acionamentos dos motores lineares serão apresentadas a seguir, nelas serão mostrados o comportamento dos motores sobre condições típicas de funcionamento e simulando o trajeto experimental contido na seção 4.5. Em seguida serão apresentados resultados experimentais.

5.1 Motores lineares sem ação de controle

Para simulação do comportamento do funcionamento do veículo sob condições de operação serão feitas as seguintes considerações: para um estudo preliminar será considerado que o veículo possui apenas dois módulos; o acoplamento entre os módulos

será rígido e, neste acoplamento, será instalada uma célula de carga para monitoramento de esforços; em consequência do acoplamento rígido a aceleração e a velocidade serão as mesmas nos dois módulos; a massa da célula de carga é desprezível;

Na Figura 5.1 estão representadas as principais forças que atuam sobre um veículo de dois módulos interligados por uma célula de carga, onde: M_1 é a massa do módulo 1; M_2 é a massa do módulo 2; F_1 é a força exercida pelo motor 1; F_2 é a força exercida pelo motor 2; T é a tração sobre a célula de carga; P_1 e P_2 são os pesos do módulo 1 e do módulo 2; P_1’ e P_2’ são as componentes de P_1 e P_2 na direção do movimento; F_C é a resultante das forças sobre a célula de carga no sentido de movimento; α é o ângulo formado entre os trilhos do veículo e a horizontal.

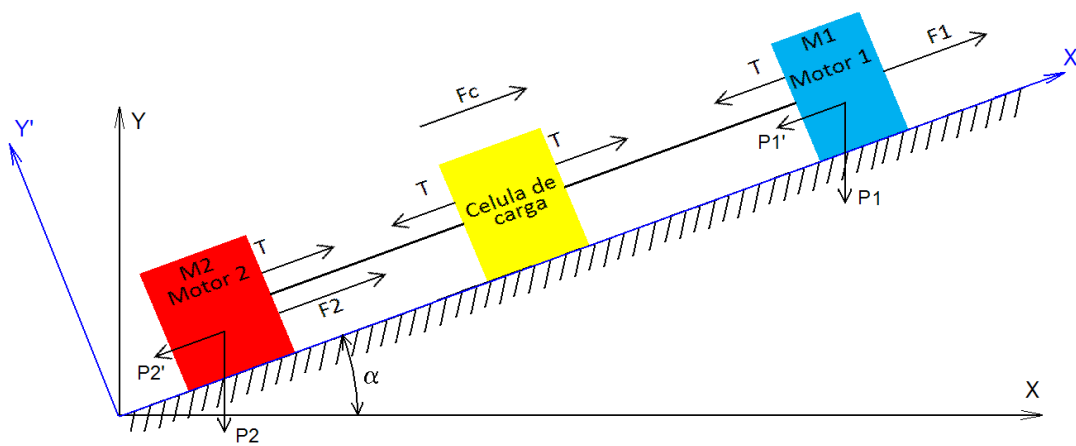



Figura 5.1 – Diagrama de forças atuantes entre dois módulos do veículo MagLev.

Para simular o comportamento do conjunto com base nas variações de massa e na realimentação da força resultante sobre a célula de carga, foram montadas as equações das forças na direção X’. As componentes de forças na direção Y’ foram retiradas tanto do diagrama quanto do equacionamento porque não contribuem com o movimento e a resultante é sempre zero, pois a decomposição do peso na direção Y’ é anulada pela força normal de levitação.

Considerando desprezível a deformação da célula de carga, a aceleração dos dois módulos é igual e é mostrada na equação (5.1).

$$a = \frac{F_1 + F_2 - P_1{}' - P_2{}'}{M_1 + M_2} = \frac{F_1 + F_2}{M_1 + M_2} - g.sen\,\alpha \qquad (5.1)$$

As equações (5.2) e (5.3), mostram composição de forças que atuam sobre as massas que compões o sistema.

$$F_1 - T - P_1' = M_1 . a \quad \Rightarrow \quad F_1 - T - M_1 . g . sen\, \alpha = M_1 . a \tag{5.2}$$

$$F_2 + T - P_2' = M_2 . a \quad \Rightarrow \quad F_2 + T - M_2 . g . sen\, \alpha = M_2 . a \tag{5.3}$$

Associando-se as equações (5.2) e (5.3) tem-se a tração entre os módulos:

$$T = \frac{M_2 . F_1 - M_1 . F_2}{M_1 + M_2} = F_1 . \frac{M_2}{M_1 + M_2} - F_2 . \frac{M_1}{M_1 + M_2} \tag{5.4}$$

A força exercida sobre a célula de carga (F_C) é dada pela soma vetorial das trações sobre ela, conforme é visto na equação (5.5).

$$F_C = T - (-T) = 2. T \tag{5.5}$$

- **Características do sistema visando analisar o comportamento entre dois módulos do veículo**

Para as simulações serão respeitados alguns limites operacionais baseados nas características do veículo. A aceleração máxima do MagLev deve levar em consideração a força máxima fornecida pelo motor linear e o carregamento máximo dos módulos. Como visto na Tabela 3.2, cada criostato possui uma força de levitação de 2500 N, cada módulo é equipado com seis criostatos, totalizando 15000 N. A força nominal do motor linear é de 900 N (Tabela 3.1), portanto, a aceleração máxima por módulo totalmente carregado, em trajetória plana horizontal, é dada pela equação (5.6). O veículo utilizado na linha de testes será composto por quatro módulos, sendo que, apenas dois deles (módulos 1 e 4) serão dotados de tração, portanto a aceleração máxima, neste caso, deverá ser de 0,3 m/s^2.

$$\vec{F} = m . \vec{a} \;\; \Rightarrow \;\; \vec{a} = \frac{900N}{3000kg} = 0{,}3 \frac{m}{s^2} \tag{5.6}$$

As simulações são baseadas no modelo do motor linear e nas equações (5.1), (5.2), (5.3) e (5.4). O modelo do motor linear é baseado no relatório do fabricante (CHABU e GOMES, 2009) e detalhado no Apêndice A. A Figura 5.2 mostra os dois blocos inversor/motor sendo excitados por um único sinal de referência, cada um

recebendo um carregamento com massas M_1 e M_2 e, também, um sinal de velocidade que determinará o escorregamento. As forças F_1 e F_2, que tracionam o MagLev, serão função destes parâmetros, sendo que, quanto maior a massa transportada, maior será o entreferro do motor, resultando assim, em uma diminuição da força do mesmo. Algumas curvas de força do motor linear em função da variação do entreferro são apresentadas na Figura 5.3.

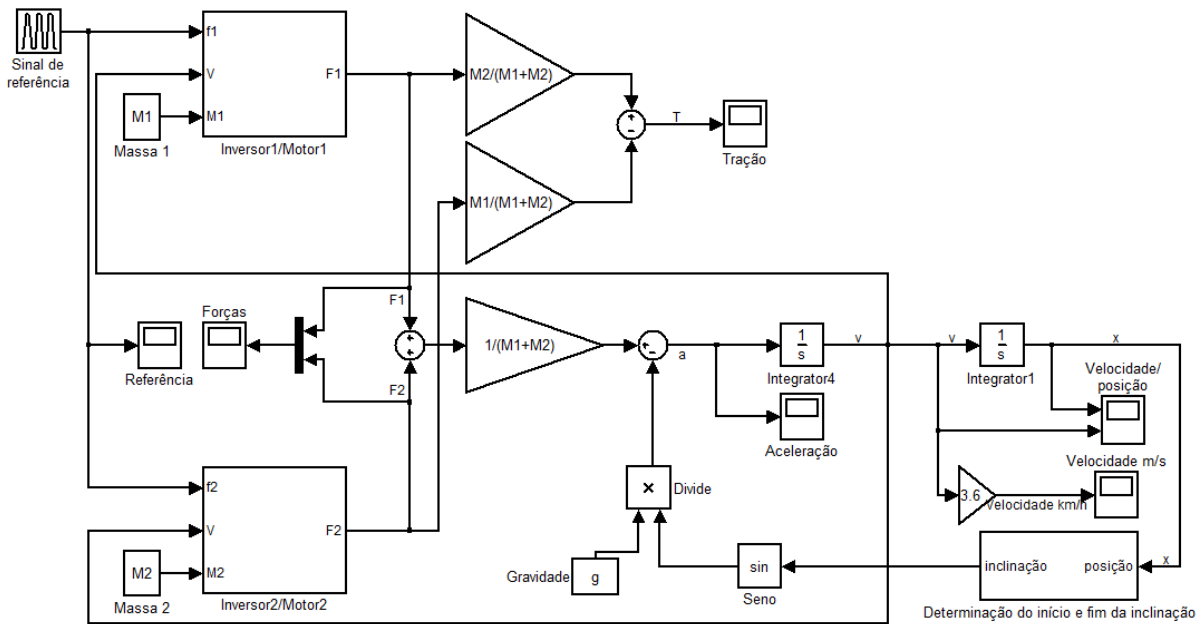



Figura 5.2 – Circuito de simulação sem realimentação.

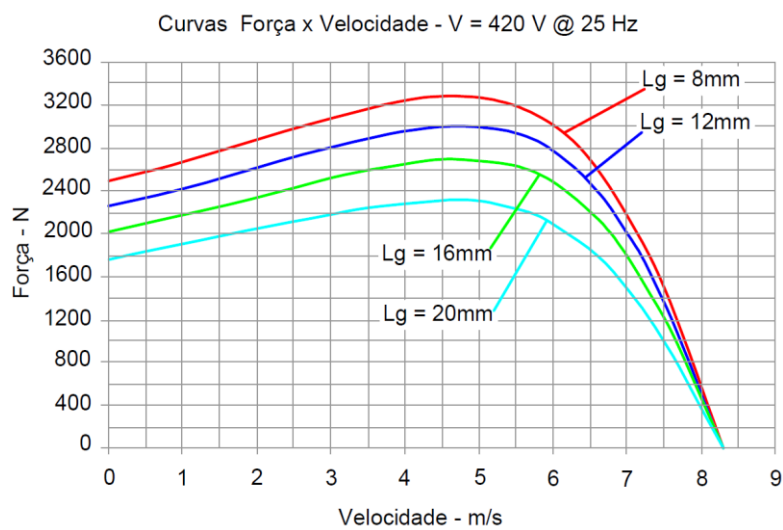



Figura 5.3 – Curvas de força em função da variação do entreferro.

• **Simulações baseadas no circuito da Figura 5.2**

Para as simulações serão determinados alguns valores compatíveis com o que se deseja para os testes iniciais de operação do MagLev em sua linha de testes de duzentos metros. A Tabela 5.1 traz os parâmetros gerais da simulação e a Tabela 5.2, os parâmetros específicos de alguns casos críticos.

Tabela 5.1 – Parâmetros gerais de simulação.

Parâmetro	Valor	unidade
Aceleração	0,3	m/s^2
Velocidade de regime	20	km/h
	5,55	m/s
Comprimento da linha	200	m
Aceleração da gravidade	9,8	m/s^2

Tabela 5.2 – Parâmetros específicos de simulação.

Estudos de caso	Parâmetro	Valor	unidade
Caso 1	Massa do módulo 1 - M_1	500*	kg
	Massa do módulo 2 - M_2	500*	kg
	Inclinação do percurso - α	0	°
Caso 2	Massa do módulo 1 - M_1	2500**	kg
	Massa do módulo 2 - M_2	500*	kg
	Inclinação do percurso - α	0	°
Caso 3	Massa do módulo 1 - M_1	2500**	kg
	Massa do módulo 2 - M_2	500*	kg
	Inclinação do percurso - α	0,61	°
Caso 4	Massa do módulo 1 - M_1	2500**	kg
	Massa do módulo 2 - M_2	2500**	kg
	Inclinação do percurso - α	0,61	°

* Massa de um módulo sem passageiros (dois vagões)

** Massa de um módulo com passageiros (dois vagões)

Obs.: O veículo de testes é composto por quatro vagões, mas, apenas dois serão providos de tração. Portanto, para fins de simulação, cada dois vagões (um com e um

sem tração) serão tratados como um único módulo.

- **CASO 1**

No Caso 1, é simulada uma situação na qual o veículo encontra-se sem passageiros, movimentando-se sobre um percurso plano.

O sinal de referência de frequência é composto por uma rampa de aceleração, um trecho de velocidade de regime permanente e uma rampa de desaceleração. Utilizando uma aceleração de 0,3 m/s^2 e a velocidade de regime de 5,55 m/s (20 km/h), o tempo de rampa pode ser calculado pela equação (5.7).

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow \Delta t = \frac{\Delta v}{a} = \frac{5{,}55\, m/s}{0{,}3\, m/s^2} = 18{,}52\, s \qquad (5.7)$$

A rampa de desaceleração contará com o mesmo tempo da rampa de aceleração. Somando-se os trechos de aceleração e desaceleração a distância percorrida é mostrada na equação (5.8).

$$x_{aceleração} = x_0 + v_0 * t + \frac{a.t^2}{2} = \frac{\frac{0{,}3\, m}{s^2}.(18{,}52\, s)^2}{2} = 51{,}44\, m \qquad (5.8)$$

$$x_{aceleração+desaceleração} \cong 2.x_{aceleração} = 102{,}88\, m$$

O tempo estimado para regime é determinado considerando-se a velocidade constante de 5,55 m/s(20 km/h), percorrendo um trecho de 97,12 m, como mostra a equação (5.9). Portanto, o tempo estimado para a viagem é de aproximadamente um minuto.

$$x_{regime} = v_0.t \quad \therefore \quad t = \frac{97{,}12\, m}{5{,}55\, m/s} = 17{,}48\, s \qquad (5.9)$$

O sinal de referência que é apresentado ao bloco inversor/motor é de frequência e a equação (5.10) mostra a relação entre a velocidade e a frequência.

$$v = 2.pp.f_{ref} \qquad (5.10)$$

Onde: v é a velocidade do motor, f_{ref} é a frequência de referência para o inversor/motor e pp é o passo polar do motor linear e vale 0,1656 m.

De posse dos tempos de aceleração, regime e desaceleração e as frequências de

referência dos pontos principais, pode-se traçar a curva do sinal de referência, como mostra a Figura 5.4.

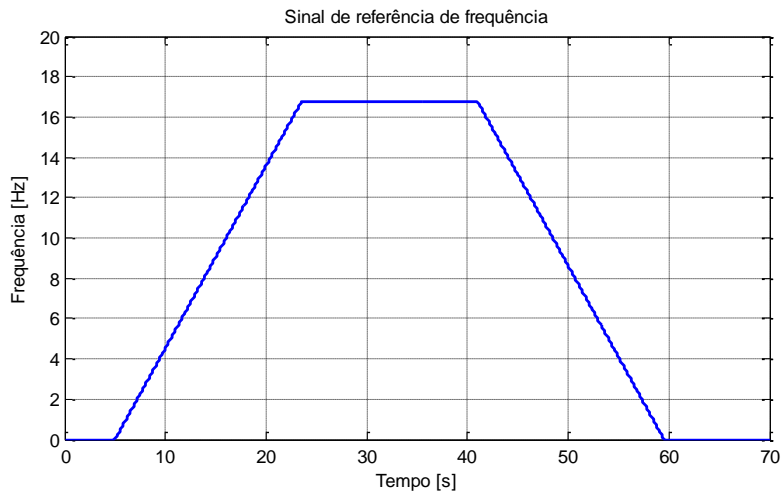



Figura 5.4 – Sinal de referência aplicado aos blocos inversor/motor.

Como os motores são idênticos e, neste caso (Caso 1), possuem a mesma carga, as forças exercidas pelos dois motores são idênticas e estão sobrepostas na Figura 5.5, ambos os motores andam sincronizados, portanto o esforço no acoplamento intermodular é igual a zero. Nota-se pela Figura 5.6 que a distância percorrida é de exatamente 200 metros, pois o escorregamento provocado no intervalo de aceleração do módulo é compensado na desaceleração. No intervalo em que o MagLev está em regime, não há escorregamento, pois como o veículo não tem contato com o solo e opera em baixa velocidade, os atritos com o solo e com o ar foram desconsiderados.

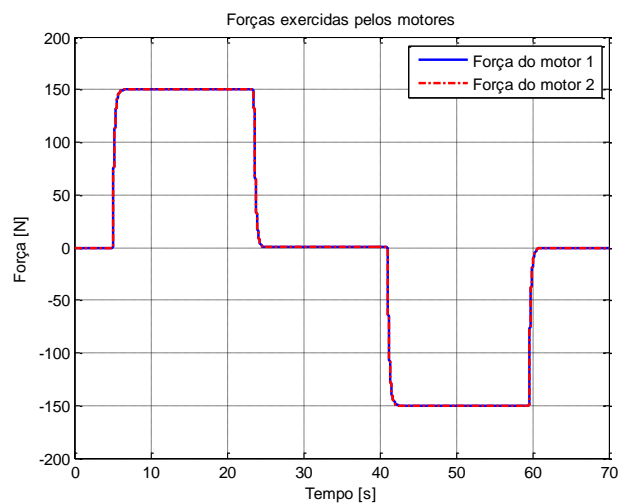



Figura 5.5 – Forças exercidas pelos motores no Caso 1.

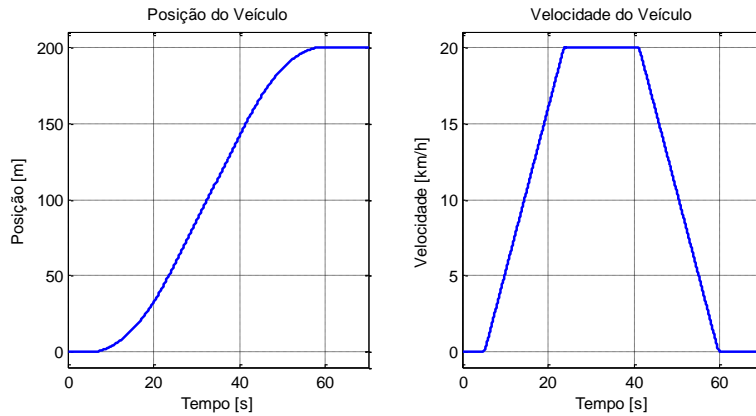



Figura 5.6 – Posição do veículo e velocidade em relação ao tempo para o Caso 1.

- **CASO 2**

No Caso 2, a massa dos passageiros está mal distribuída entre os módulos e não há inclinações no percurso. Nota-se que o Motor 2, que está no módulo descarregado, (500 kg) é o que exerce maior força, enquanto que o Motor 1, exerce uma força menor, embora esteja presente no módulo com mais carga (2500 kg). Isso acontece porque quanto maior a massa transportada maior o entreferro do motor fazendo com que este se torne mais fraco.

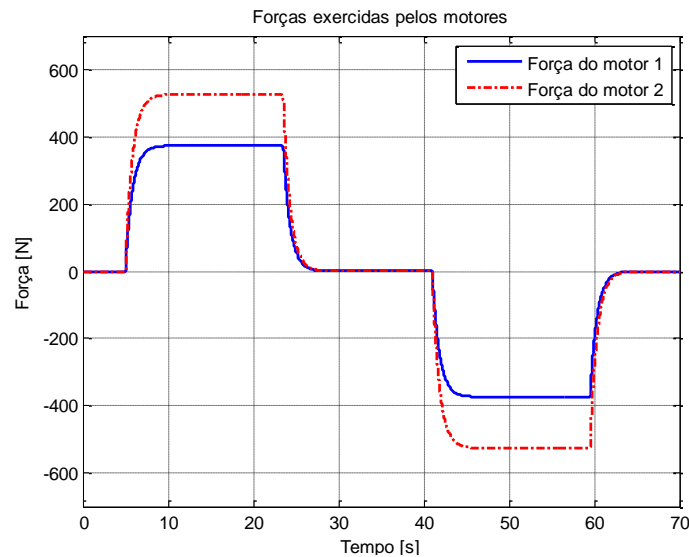



Figura 5.7 – Forças exercidas pelos motores no Caso 2.

Como o acoplamento entre os módulos é rígido, há uma transferência de forças entre eles. A Figura 5.8 mostra a tração sobre a célula de carga, nota-se que durante a aceleração a tração é negativa devido ao fato do Motor 2 estar “empurrando” o Motor 1. Nesta situação, uma força de aproximadamente 200 N está sendo transferida do módulo

2 para o módulo 1, comprimindo a célula de carga (a força sobre a célula de carga e f_C = 2.T, vide equação (5.5)). O oposto ocorre na desaceleração, quando a tração se torna positiva, pois o módulo 1 possui um momento de inercia maior que o módulo 2, e como o Motor 2 exerce uma força maior, este contribui “segurando” o módulo 1. Novamente a contribuição do Motor 2 aproxima-se de 200 N, mas desta vez, estendendo a célula de carga.

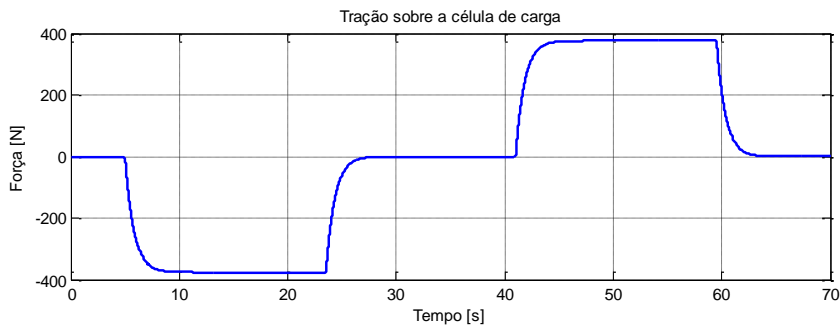



Figura 5.8 – Tração sobre a célula de carga no Caso 2.

As curvas de força dos dois motores possuem inclinações diferentes na região de operação, visto que possuem carregamentos diferentes e, consequentemente, entreferros diferentes, o entreferro do Motor 1 é maior que o do motor 2. A Figura 5.9 mostra um esboço de como é o comportamento dos motores lineares quando possuem entreferros diferentes e um mesmo sinal de referência. Nota-se que a composição das forças do sistema é influenciada diretamente pelo entreferro e sempre o motor do módulo com menor carregamento contribui com uma força maior.

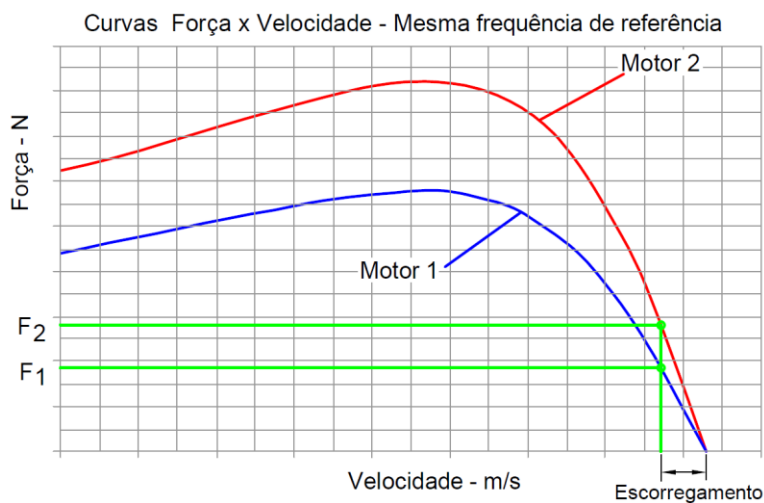



Figura 5.9 – Comparação das curvas de força no Caso 2.

• **CASO 3**

No caso 3, as massas dos módulos são diferentes e há uma inclinação de 0,7 graus entre a posição de 6 metros e 194 metros, que corresponde à distância a ser percorrida fora das estações. As estações de 6 metros cada são planas.

Devido ao aumento do escorregamento provocado pelo plano inclinado, foi usado um fator de correção para que a distância percorrida seja de exatamente 200 metros. Estas correções já estão implementadas nos resultados que serão apresentados a seguir. O ângulo de inclinação da rampa é de 0,61° e é considerado quando o veículo atinge 6 metros de deslocamento. O percurso volta a ficar plano quando é alcançada a marca de 194 metros. Nesta simulação, o início e fim da rampa, acontecem aos 12,09 s e 54,74 s, respectivamente (Figura 5.10).

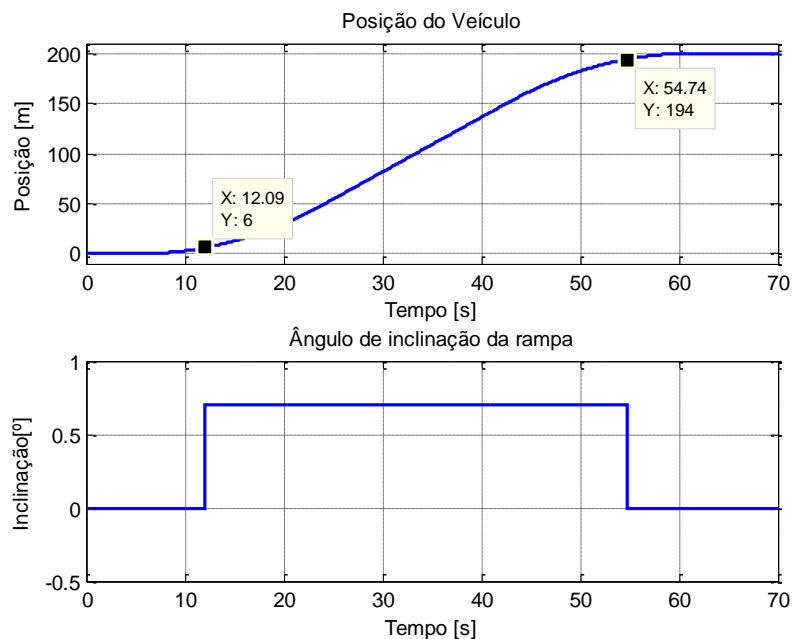



Figura 5.10 – Início e fim da rampa com inclinação de 0,61°.

Nota-se na Figura 5.11, que a força exigida dos motores cresce consideravelmente no plano inclinado. Nota-se, também, que os motores fornecem forças ao conjunto durante o regime permanente para compensar a componente gerada pela ação da gravidade no sentido de deslocamento.

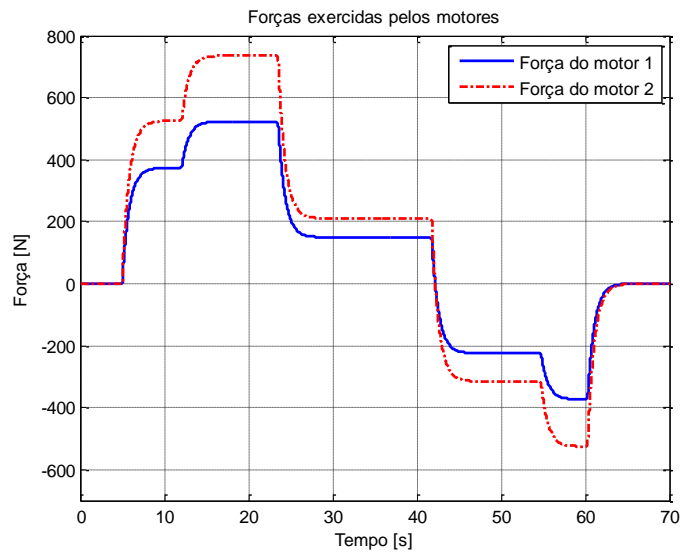



Figura 5.11 – Forças exercidas pelos motores no Caso 3.

- **CASO 4**

Neste caso, os dois módulos estão com seu carregamento máximo. A força máxima exercida pelos motores é da ordem de 1050 N. Da mesma forma que no Caso 1, os módulos andam sincronizado e os dois motores exercem a mesma força (veja forças sobrepostas na Figura 5.12), não havendo transferência de forças através do acoplamento dos módulos.

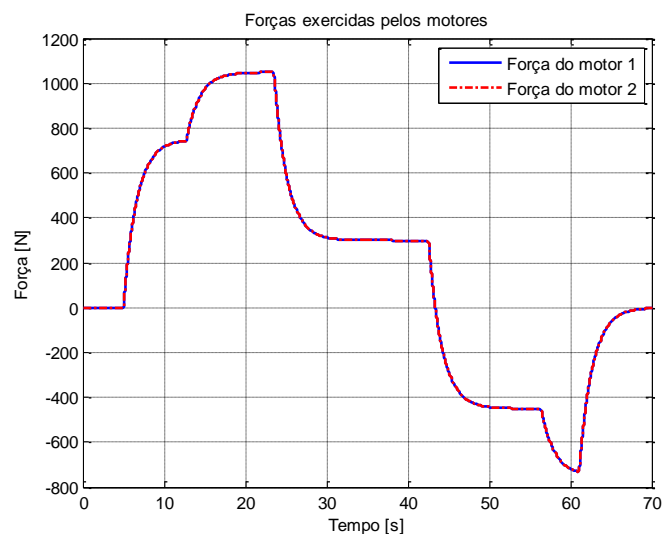



Figura 5.12 – Forças exercidas pelos motores no Caso 4.

5.2 Motores lineares com realimentação de tração

A célula de carga instalada na interligação dos módulos fornece informação de tração e compressão. Uma estratégia de controle que pode ser utilizada é a realimentação da força de tração. Nesta estratégia, visa-se minimizar os esforços no acoplamento modular. A técnica utilizada é do tipo mestre-escravo, na qual o Motor 1 é o mestre e o Motor 2 o escravo, ou seja, o Motor 1 receberá o sinal de referência e o motor dois receberá o sinal corrigido por uma realimentação unitária, como mostra a Figura 5.13. Foi escolhida a realimentação unitária, pois como a dinâmica do sistema é lenta, não são necessárias técnicas avançadas de controle. Se forem zerados os esforços entre os módulos do veículo, cada motor será responsável por transportar a carga de seu módulo de forma independente. Desta forma, teriam comportamentos independentes um do outro.

Os casos simulados neste item estão agrupados na Tabela 5.3. Nota-se que não há simulação de casos com massas iguais, pois nestes, os motores fazem esforços iguais, não havendo tração na célula de carga. As condições dos Casos 5 e 6 são algumas das vistas no item 5.1. A condição do Caso 7 foi inserida para analisar o comportamento no qual o mestre (módulo 1) está vazio e o escravo (módulo 2) está totalmente carregado

Tabela 5.3 – Parâmetros específicos de simulação.

Estudos de caso	Parâmetro	Valor	unidade
Caso 5	Massa do módulo 1 - M_1	2500**	kg
	Massa do módulo 2 - M_2	500*	kg
	Inclinação do percurso - α	0	°
Caso 6	Massa do módulo 1 - M_1	2500**	kg
	Massa do módulo 2 - M_2	500*	kg
	Inclinação do percurso - α	0,61	°
Caso 7	Massa do módulo 1 - M_1	500*	kg
	Massa do módulo 2 - M_2	2500**	kg
	Inclinação do percurso - α	0,61	°

* Massa de um módulo sem passageiros(dois vagões)

** Massa de um módulo com passageiros(dois vagões)

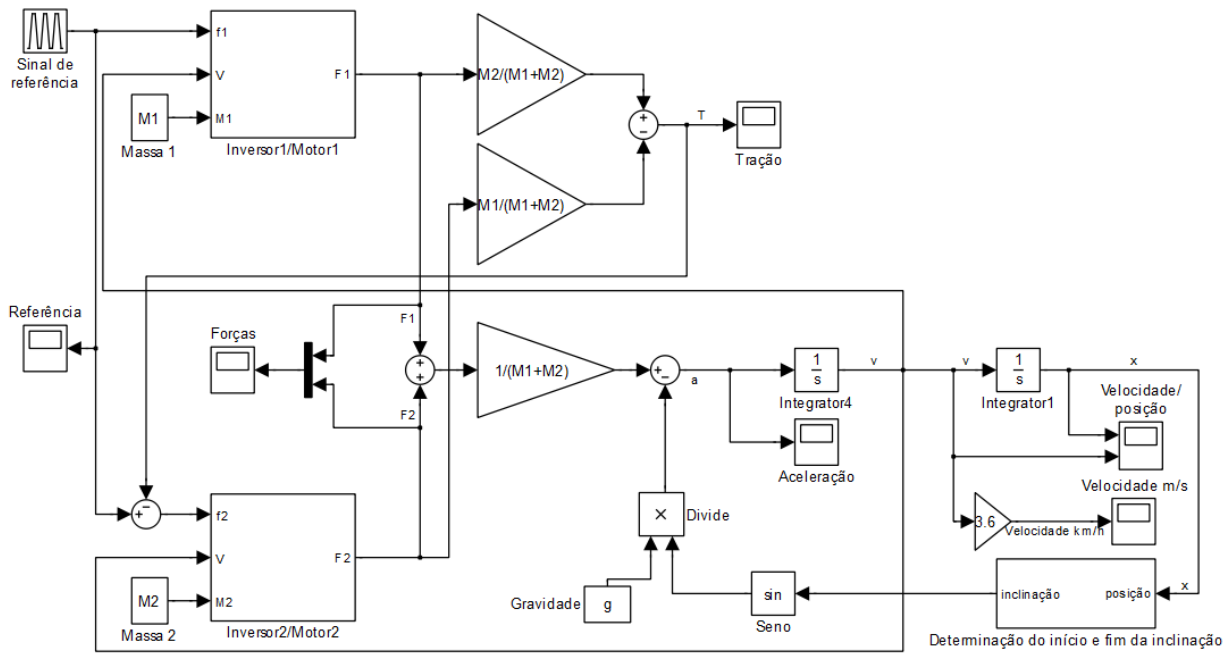



Figura 5.13 – Circuito de simulação com realimentação de tração intermodular.

- **CASO 5**

Nesta simulação os módulos possuem carregamentos diferente e o trajeto é plano. Deseja-se minimizar os esforços no acoplamento entre os módulos, para isso a célula de carga fornece informação de tração para o controle do Motor 2.

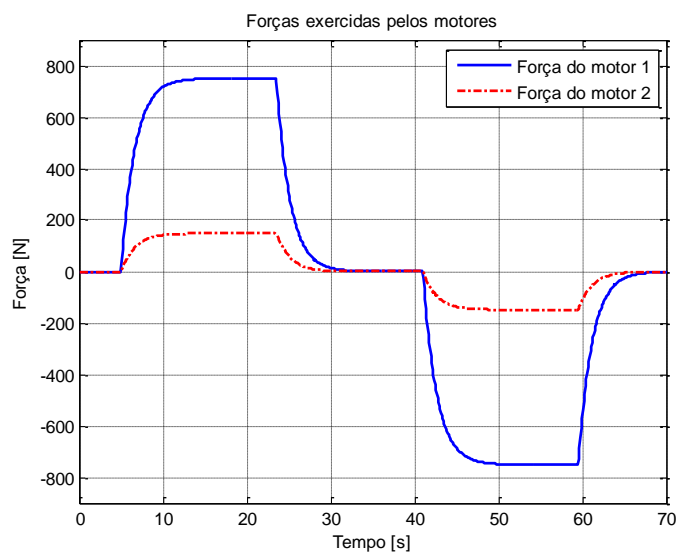



Figura 5.14 – Forças exercidas pelos motores no Caso 5.

A Figura 5.14 mostra que cada motor é responsável por desenvolver a força necessária para transportar sua própria carga. A força exercida pelo Motor 1 é três vezes maior que a força exercida pelo Motor 2, visto que a carga transportada pelo módulo 1 é três vezes maior. Para comprovar que a interação entre os módulos é mínima, a tração sobre a célula de carga é apresentada na Figura 5.15, na qual nota-se que a tração é menor que 1,5N. Com o auxílio de um ganho proporcional seria possível reduzir ainda mais este valor, mas, para efeito de comparações qualitativas entre as técnicas de controle propostas, o valor encontrado é satisfatoriamente baixo se comparado com as forças envolvidas no processo.

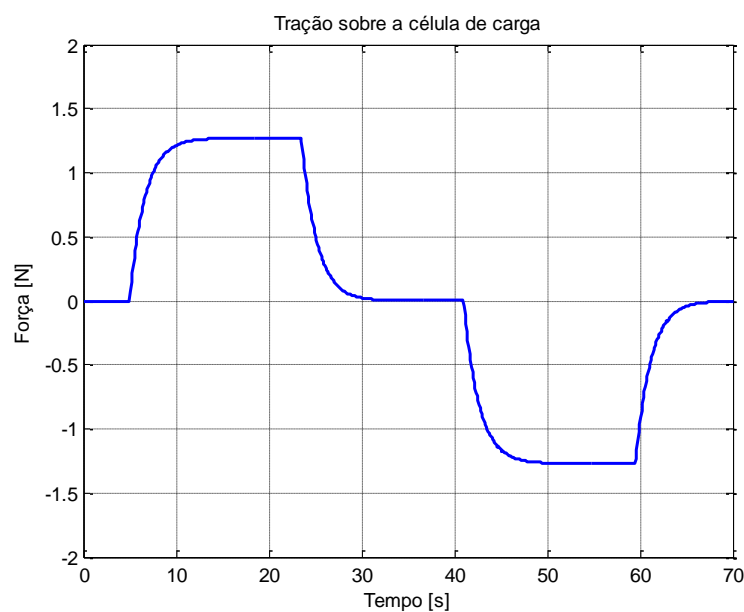



Figura 5.15 – Força de tração sobre a célula de carga.

A Figura 5.16 mostra que para minimizar o esforço no acoplamento é necessário que o motor 2, com maior capacidade de desenvolvimento de força, seja subutilizado sem contribuir com o Motor 1.

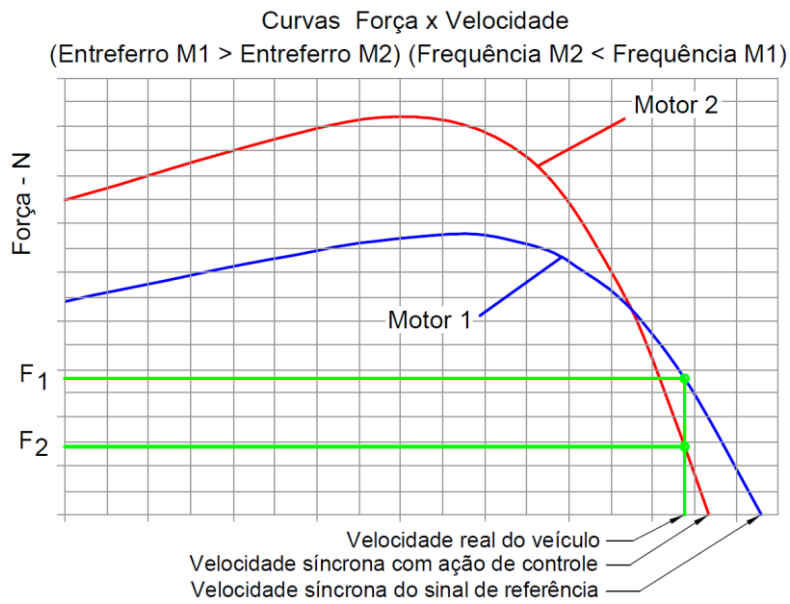



Figura 5.16 – Curvas de cargas dos motores com a ação de controle.

- **CASO 6**

O Caso 6 se difere do Caso 5 porque neste é considerado o plano inclinado de 0,61°. O Motor 1 trabalha para transportar sua a carga e ainda compensar a ação da gravidade enquanto que o Motor 2, que possui menor entreferro e consequentemente maior capacidade de trabalho, trabalha "folgado" (Figura 5.17).

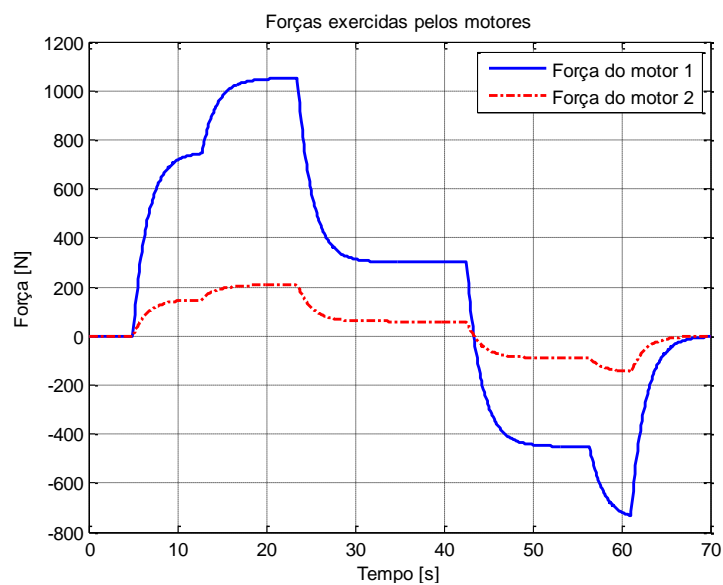



Figura 5.17 – Forças exercidas pelos motores no Caso 6.

- **CASO 7**

No Caso 7 o motor que recebe a ação de controle é o que está com mais carga (Motor 2) e o Motor 1, que é o motor mais forte, recebe o sinal de referência. Nesta situação, o Motor 1 tem uma resposta rápida e, como ele é o “mestre”, a ação de controle faz com que a resposta do Motor 2 também seja rápida. Nota-se na Figura 5.18 que há uma resposta rápida aos estímulos da aceleração e desaceleração e da entrada e saída da rampa.

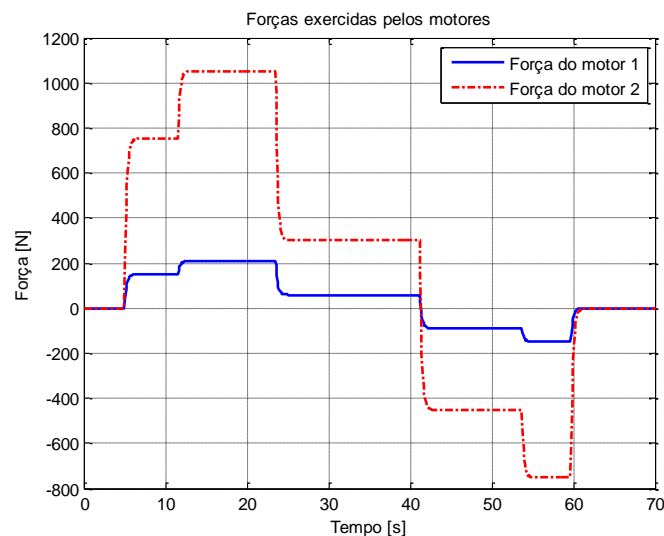



Figura 5.18 – Forças exercidas pelos motores no Caso 7.

5.3 Motores lineares com realimentação de força

O controle por realimentação de força tem por finalidade distribuir igualmente as cargas entre os dois motores, fazendo com que ambos contribuam igualmente para o transporte das massas. Nesta topologia, o Motor 2 novamente será o escravo, como mostra a Figura 5.19. Nota-se que novamente foi utilizada a realimentação unitária, pois esta se mostrou satisfatória, sem que houvesse a necessidade de uma ação de controle mais elaborada. Serão simulados apenas os casos nos quais há inclinação na pista, pois esta é a condição extrema que será encontrada na linha de testes que liga o CT-I ao CT-II. A Tabela 5.4 mostra dois casos onde existe uma má distribuição de cargas, em ambos, um dos módulos está totalmente descarregado e o outro com carga máxima.

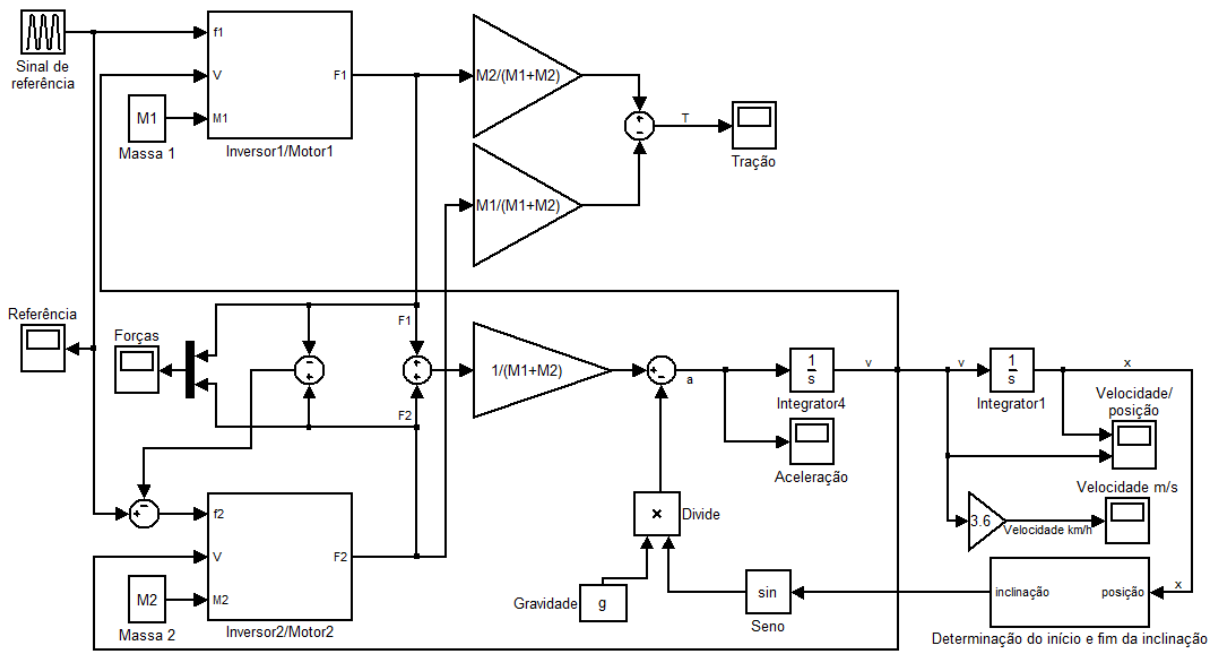



Figura 5.19 – Circuito de simulação cem realimentação de força.

Tabela 5.4 – Parâmetros específicos de simulação.

Estudos de caso	Parâmetro	Valor	unidade
	Massa do módulo 1 - M_1	2500**	kg
Caso 8	Massa do módulo 2 - M_2	500*	kg
	Inclinação do percurso - α	0,61	°
	Massa do módulo 1 - M_1	500*	kg
Caso 9	Massa do módulo 2 - M_2	2500**	kg
	Inclinação do percurso - α	0,61	°

* Massa de um módulo sem passageiros (dois vagões)

** Massa de um módulo com passageiros (dois vagões)

- **CASO 8**

Com a realimentação de força visa-se fazer com que ambos os motores desenvolvam o mesmo esforço, mas quando as massas são distribuídas de forma desigual a maneira de se alcançar este objetivo é transferindo forças através do acoplamento modular. Neste Caso 8, consegue-se um resultado satisfatório no cumprimento do objetivo. Nota-se na Figura 5.20 que as forças exercidas pelos motores 1 e 2 estão sobrepostas.

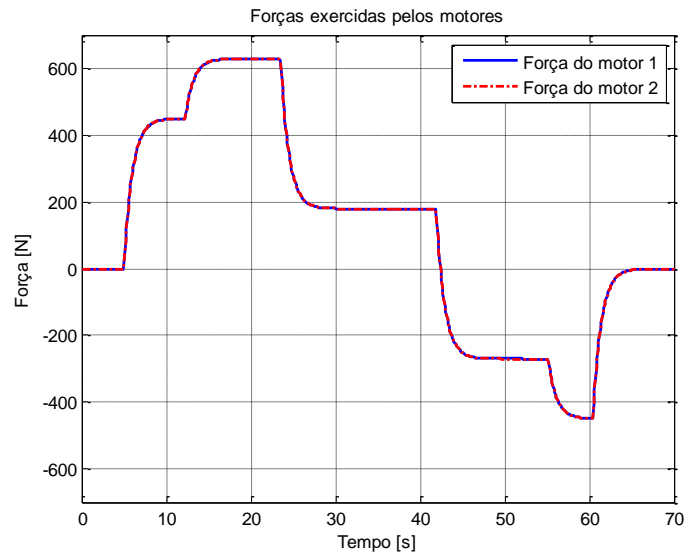



Figura 5.20 – Forças exercidas pelos motores no Caso 8.

Com esta topologia haverá uma transmissão de tração através do acoplamento modular, como pode ser visto na Figura 5.21. Como o módulo 2 está menos carregado, este auxilia o motor 1, empurrando (compressão na célula de carga) o módulo 1 durante a aceleração e freando (estendendo a célula de carga) durante a desaceleração.

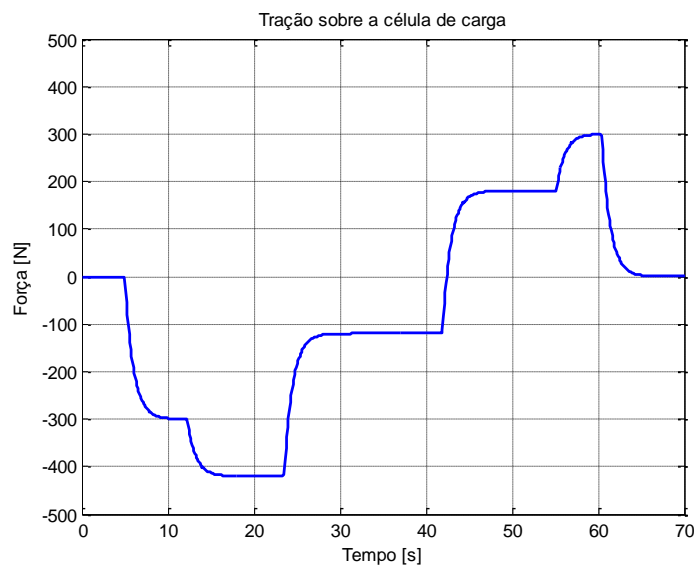



Figura 5.21 – Força de tração sobre a célula de carga.

O motor mestre (Motor 1) recebe o sinal de referência, enquanto que o motor 2 recebe o sinal de referência com a ação da realimentação de força. Nota-se na Figura 5.22 que a frequência do Motor 2 é ajustada tal que as forças exercidas pelos dois motores sejam iguais.

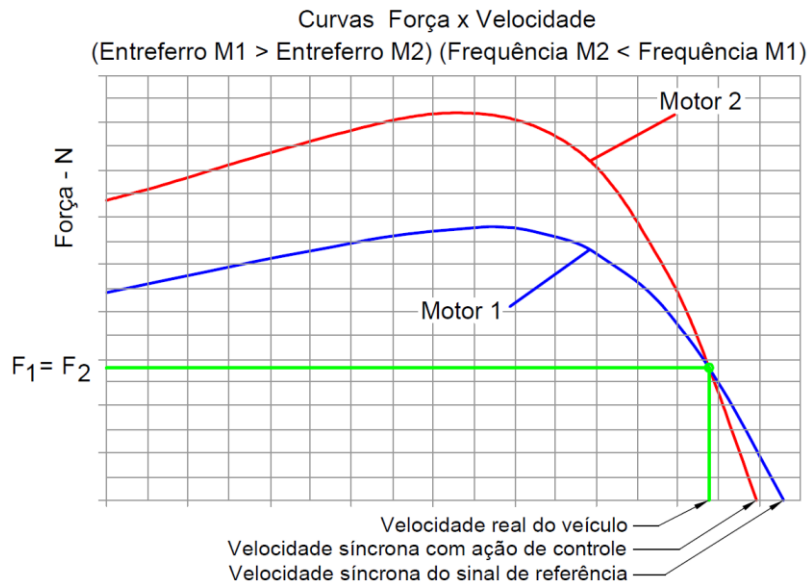



Figura 5.22 – Curvas de cargas dos motores com a ação de controle.

- **CASO 9**

No Caso 9 há uma inversão no carregamento dos módulos. A Figura 5.23, a Figura 5.24 e a Figura 5.25 mostram a condição na qual o motor mestre está com carregamento menor. Comparando a Figura 5.23 com a Figura 5.20, verifica-se que não há diferença entre as mesmas, isso ocorre porque o carregamento total é igual nos casos 8 e 9. Portanto, uma divisão igualitária das forças teria mesmo que resultar em gráficos de força idênticos.

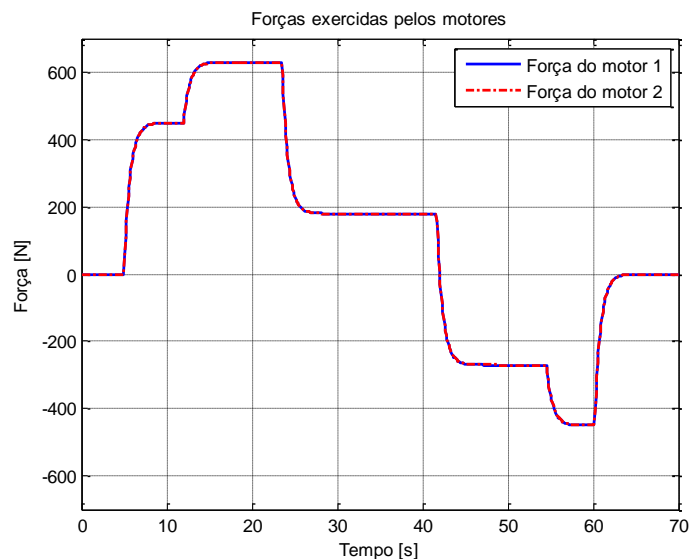



Figura 5.23 – Forças exercidas pelos motores no Caso 9.

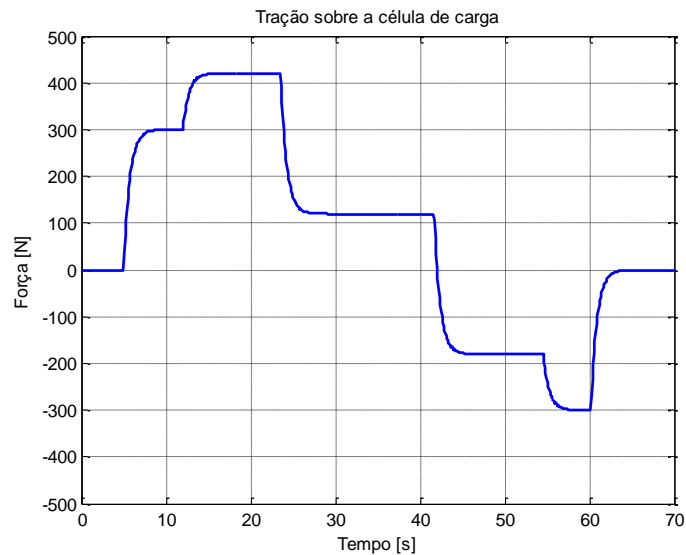



Figura 5.24 – Força de tração sobre a célula de carga.

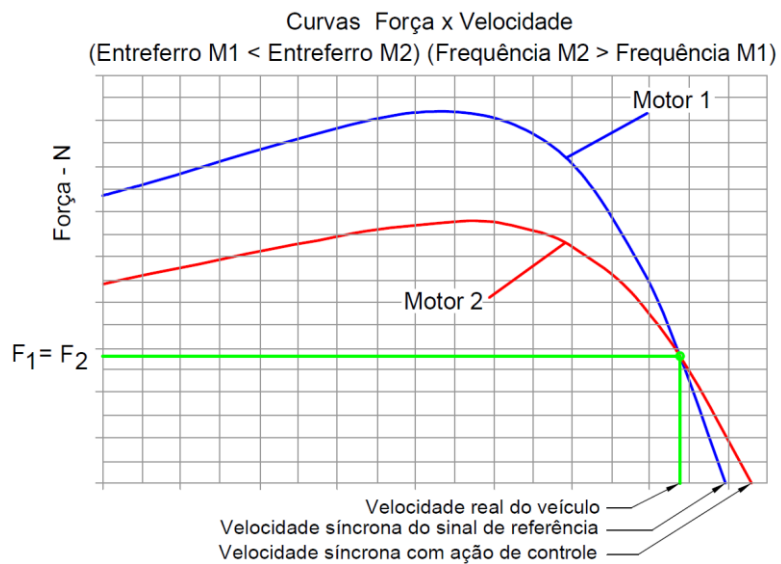



Figura 5.25 – Curvas de cargas dos motores com a ação de controle.

5.4 Ensaios dinâmicos do veículo com leituras de altura de levitação e velocidade

Os ensaios dinâmicos foram realizados com o veículo sem carga sobre linha de testes apresentada na seção 4.5. Os módulos monitorados foram o 3º e o 4º.

5.4.1 Condições de ensaio

Foram instalados oito sensores para monitoramento das alturas de levitação (BALLUFF, 2015) distribuídos nas extremidades dos módulos 3 e 4. Por questões técnicas, durante os ensaios, os módulos levitaram com apenas quatro dos seis criostatos previstos e os sensores foram alinhados com o centro dos criostatos nas extremidades dos módulos. A Figura 5.26 mostra o posicionamento dos sensores e os criostatos presentes nos módulos. Os sensores de altura foram conectados a dois sistemas de aquisição, um utilizando o FieldLogger (dispositivo para aquisição de dados) da marca NOVUS com armazenamento de dados em um cartão SD e outro utilizando uma placa de aquisição Advantec USB-4711A conectada a um computador com captura de dados utilizando o software LabView. A aquisição de dados de velocidade foi realizada somente com a placa da Advantec devido ao número de entradas analógicas do FieldLogger ser insuficiente. O comando de "JOG" do inversor foi aquisitado para determinar o início e fim das viagens.

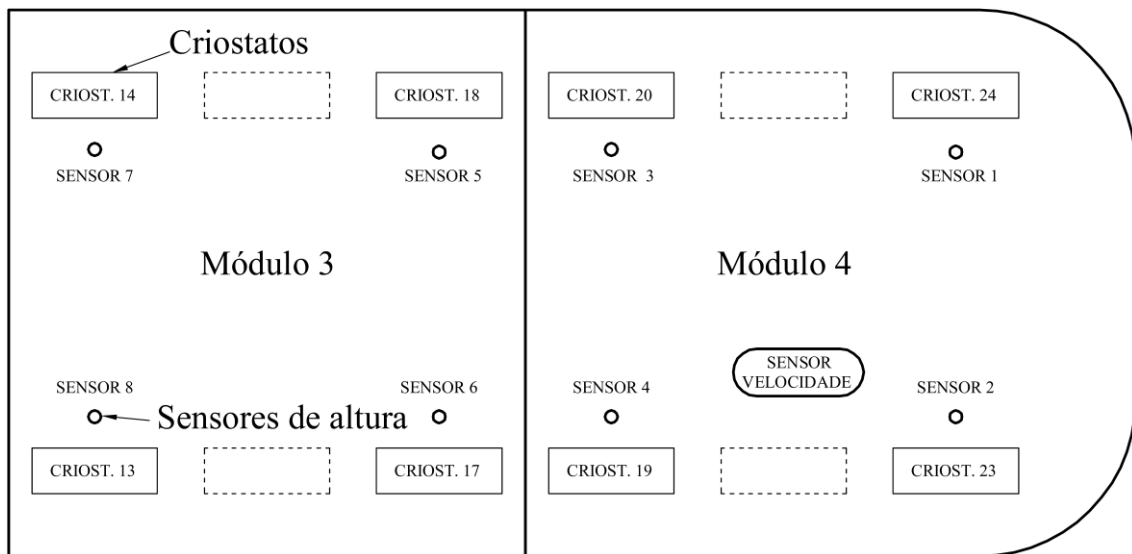



Figura 5.26 – Posicionamento dos sensores de altura e do sensor de velocidade.

Para aferir a altura de levitação dos criostatos com o sinal lido pelos sensores, o veículo foi posicionado em um ponto da via, foram feitas medições da altura utilizando régua de precisão e simultaneamente foram registradas as leituras dos sensores. Os

sensores enviam sinais de 0 a 10 V e foram programados para atuarem dentro de uma faixa de 40 mm. Esta faixa foi definida com base no grau de liberdade da movimentação vertical dos módulos que é de no máximo 30 mm. As medidas e leituras feitas com o veículo estático são apresentadas na Tabela 5.5.

O módulo 4 possui um carregamento maior por acumular os pesos do primário do motor linear, das baterias e do inversor de frequência, em consequência, sua altura de levitação é mais baixa. Pela tabela é possível visualizar que a extremidade do módulo 4 é a que encontra-se mais baixa, com 12 mm de *gap* entre os criostatos (CRIOST. 23 e 24) e o trilho de imãs. As conexões modulares permitem a transferência de esforços verticais entre os módulos, por isso os quatro criostatos (CRIOST. 17,18,19 e 20) próximos a junção entre o módulo 4 e o módulo 3 estabilizam-se com uma altura pouco maior que a altura da extremidade do veículo, lembrando que o módulo 3 é mais leve por possuir menos componentes pesados. Os criostatos 13 e 14 levitam com as maiores alturas, estabilizando-se com a altura dos criostatos mais próximos presentes no módulo 2, módulo este que não é mostrado aqui. A Tabela 5.6 mostra as condições de realização das viagens de teste. Ao todo serão mostradas quatorze viagens com três condições diferentes de tempos de aceleração e desaceleração e duas condições de inclinação, uma positiva na direção CT-I para CT-II e outra negativa no sentido contrário. A maior parte das viagens contou com apenas dois passageiros embarcados, um responsável pela operação do veículo e outro por capturar as informações. Na última viagem, cinco integrantes da equipe do MagLev embarcaram e transitaram livremente entre os módulos durante a viagem.

Tabela 5.5 – Leitura dos sensores de altura e medidas da altura de levitação dos criostatos.

	Módulo 4				Módulo 3			
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8
Média da leitura do sensor [V]	5.5736	5.279	4.8022	5.0744	5.8952	5.0147	4.6592	3.4937
Gap do Criostato [mm]	12	12	14	14	14	15	19	19

Altura de levitação corrigida= ((Leitura do sensor - Média da leitura do sensor na posição de medição) *40/10)+Altura real medida [mm]

Tabela 5.6 – Condições de realização das viagens de teste.

Viagem	Direção	Rampas [s] Aceleração e Desaceleração	Passageiros a bordo
V1	CT-I → CT-II	10	2 passageiros parados nos módulos 1 e 2
V2	CT-II → CT-I	10	2 passageiros parados nos módulos 1 e 2
V3	CT-I → CT-II	10	2 passageiros parados nos módulos 1 e 2
V4	CT-II → CT-I	10	2 passageiros parados nos módulos 1 e 2
V5	CT-I → CT-II	5	2 passageiros parados nos módulos 1 e 2
V6	CT-II → CT-I	5	2 passageiros parados nos módulos 1 e 2
V7	CT-I → CT-II	5	2 passageiros parados nos módulos 1 e 2
V8	CT-II → CT-I	5	2 passageiros parados nos módulos 1 e 2
V9	CT-I → CT-II	2,5	2 passageiros parados nos módulos 1 e 2
V10	CT-II → CT-I	2,5	2 passageiros parados nos módulos 1 e 2
V11	CT-I → CT-II	2,5	2 passageiros parados nos módulos 1 e 2
V12	CT-II → CT-I	2,5	2 passageiros parados nos módulos 1 e 2
V13	CT-I → CT-II	2,5	5 deslocando-se livremente entre módulos
V14	CT-II → CT-I	2,5	5 deslocando-se livremente entre módulos

A Figura 5.27 ilustra os dois sistemas de aquisição montados para coletar sinais analógicos de 0 a 10 V vindos dos sensores. Na parte superior da figura, o FieldLogger NOVUS, com oito canais analógicos, oito canais digitais e duas saídas à relé e, abaixo deste, a placa Advantec USB-4711A com dezesseis entradas analógicas, duas saídas analógicas, oito entradas digitais e oito saídas digitais.

Figura 5.27 – Sistemas de aquisição de dados de levitação e velocidade, FieldLogger NOVUS e placa Advantec USB-4711A.

5.4.2 Análise das viagens de ensaio

Requisitos de conforto e segurança fazem parte das premissas de um APM. A análise geral de um conjunto de viagens serve como requisito para aprimoramentos e adequações do veículo, até que este esteja pronto para operar com transporte de vidas humanas. A Figura 5.28 mostra um conjunto de quatorze viagens realizadas na linha de testes. Por questões de segurança, as viagens ocorreram no trecho inclinado, sem entrar nas estações. À medida que o número de ensaios for aumentando e, também, a instrumentação total do veículo, o mesmo poderá ser testado entrando nas estações.

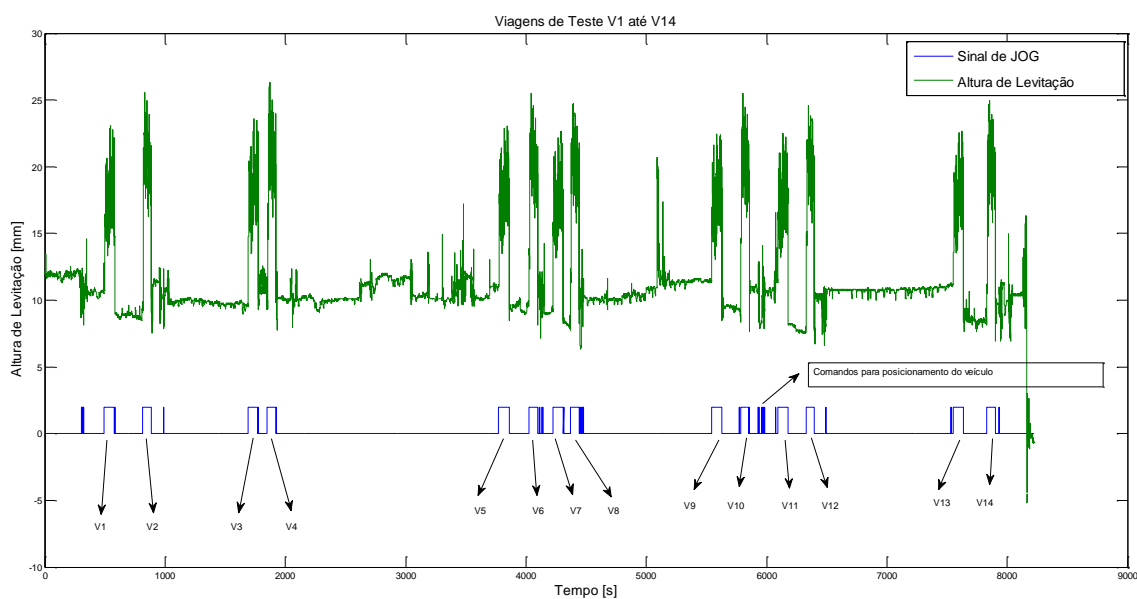



Figura 5.28 – Alturas de levitação do criostato "CRIOST. 24" durante as quatorze viagens realizadas neste ensaio.

São duas as informações contidas na Figura 5.28. Em azul estão as informações dos comados de "JOG", ou seja, o sinal de início e fim das viagens. Em verde, a altura de levitação do criostato "CRIOST. 24". Nota-se que o criostato levita mais alto durante o intervalo em que o comando de tracionar está ativado, isso ocorre devido as forças atrativas entre primário e secundário do motor de indução linear, já mencionadas anteriormente. As legendas V1 até V14 correspondem às viagens de teste. As viagens ímpares ocorrem no sentido CT-I para o CT-II e as pares de CT-I para CT-II. De forma qualitativa é possível notar que as viagens em aclive, que ocorrem de CT-I para CT-II, possuem alturas de levitação maiores que no sentido contrário. Uma explicação para isso é porque a corrente elétrica do motor linear é maior na subida, aumentando a força de atração deste motor. Maiores detalhes das viagens serão mostrados com a ampliação

dos intervalos de interesse.

As alturas de levitação dos quatro criostatos presentes no módulo quatro são apresentadas na Figura 5.29. Nota-se que o criostato 24 levita mais baixo que os demais, isso se deve ao fato do inversor CFW-11, que pesa 31,4 kg, estar posicionado acima do mesmo, desbalanceando a distribuição das massas. Com o veículo em repouso as levitações dos criostatos 23 e 24 são mais baixas que a dos criostatos 19 e 20. Mas durante a tração, 19, 20 e 23 ficam praticamente da mesma altura, pois estão limitados pelas rodas de segurança do primário.

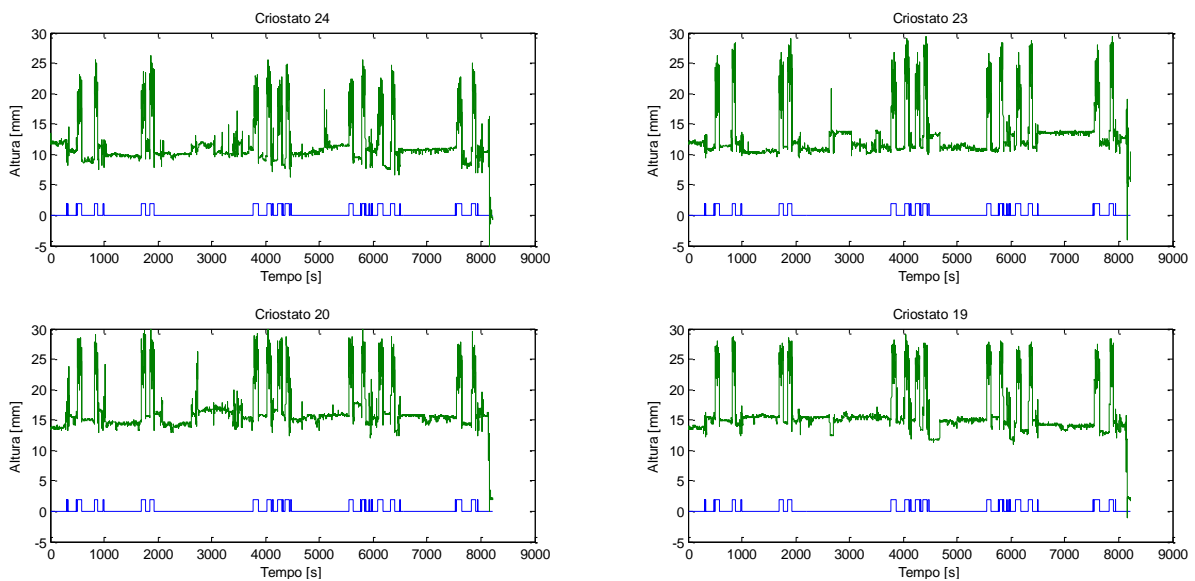



Figura 5.29 – Alturas de levitação dos criostatos do módulo 4 durante as quatorze viagens realizadas neste ensaio.

O módulo 3 não possui tração, portanto, não sofre influência das forças atrativas do motor linear. A Figura 5.30 mostra que não há ganho significativo de altura durante as viagens. O que se percebe são oscilações na altura. Estas oscilações ocorrem devido à pequenas imperfeições da via e a vibrações do veículo. Nota-se que existem ruídos de alta frequência na leitura de altura do criostato 18, isso ocorreu porque durante a configuração do sistema de aquisição, o canal responsável pelo sensor deste criostato foi configurado sem o filtro digital.

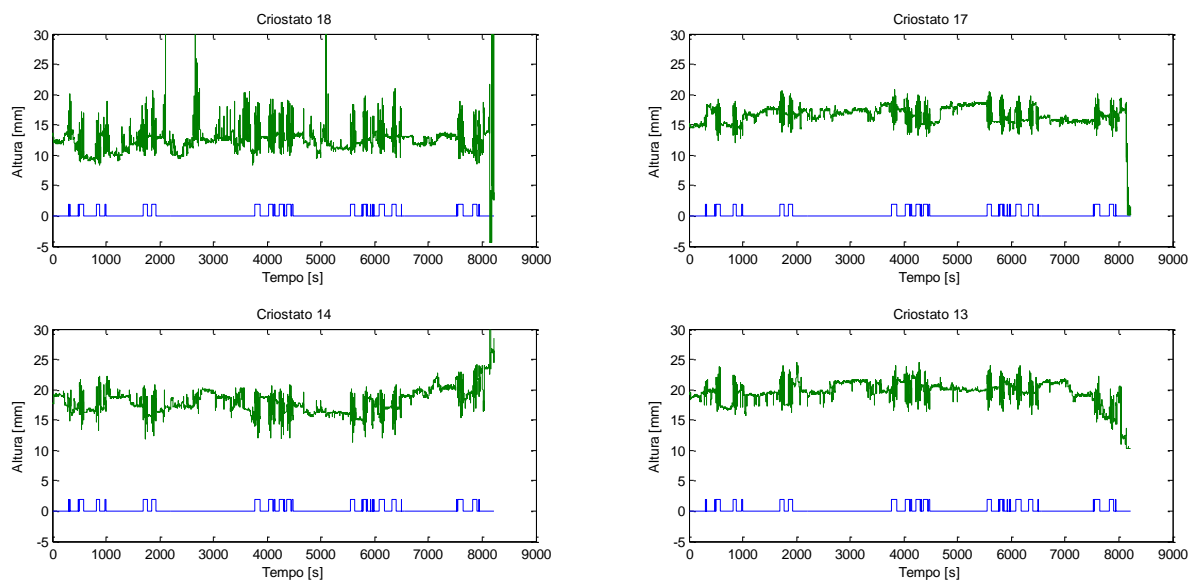



Figura 5.30 – Alturas de levitação dos criostatos do módulo 3 durante as quatorze viagens realizadas neste ensaio.

5.4.3 Análise das alturas de levitação dos criostatos

Para melhor visualização dos dados, esta seção apresentará a análise detalhada de algumas viagens. Considerando que o ponto de partida é a estação CT-I, a Figura 5.31 mostra a altura de levitação dos criostatos do módulo quatro nas viagens de ida e de volta que correspondem a V3 e V4. Nesta figura é possível notar com mais clareza que a altura de levitação é maior na viagem V4, se comparada com a viagem V3. As oscilações visualizadas nas viagens obedecem a um padrão, tanto no lado ímpar quanto no lado par, mostrando que não se trata de ruído de leitura e sim a captação de imperfeições e vibrações ao longo do percurso. Isto pode ser notado nitidamente na viagem de volta dos criostatos 19 e 23, na qual um afundamento de altura é perceptível. Este afundamento também é notado, com menor intensidade, na viagem de ida. A Figura 5.32 detalha a ocorrência do afundamento na altura de levitação no criostato 23, nas viagens V3 e V4. Na figura 3 aparece um afundamento de altura na viagem de ida para o CT-II e na volta. Embora o tempo de volta (t_{volta}) seja menor que o de ida (t_{ida}) no ponto de afundamento, o evento ocorreu no mesmo ponto da via. A volta é mais rápida devido ao auxílio da gravidade. Este padrão se repete em todos os ensaios, às vezes de forma nítida, às vezes sutil.

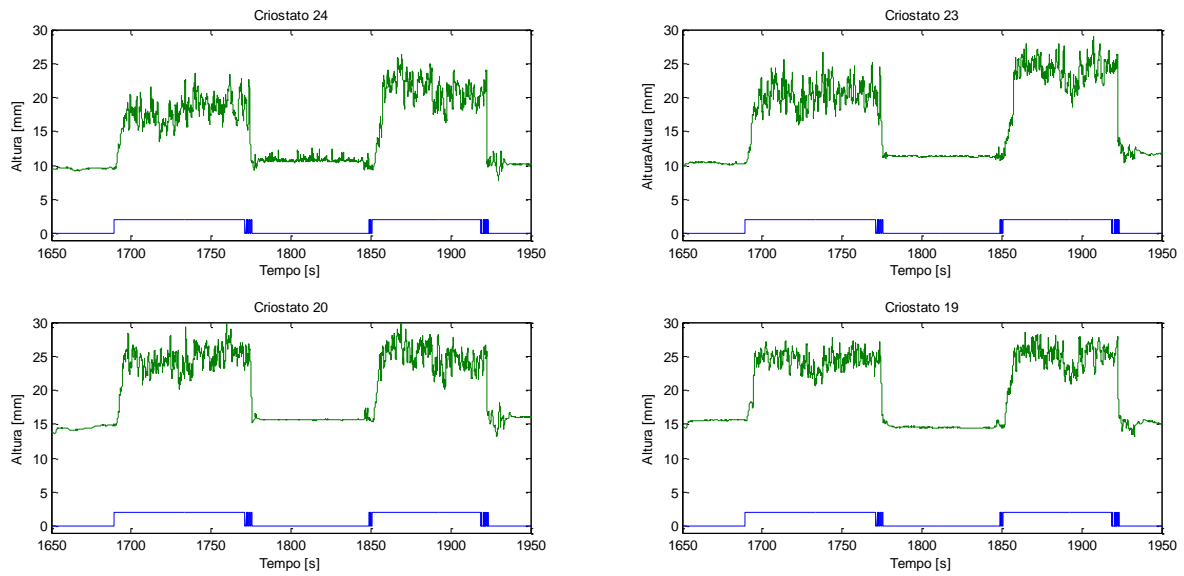



Figura 5.31 – Altura de levitação dos criostatos do módulo 4 nas viagens V3 e V4, sendo V3 a viagem de ida e V4 a de volta.

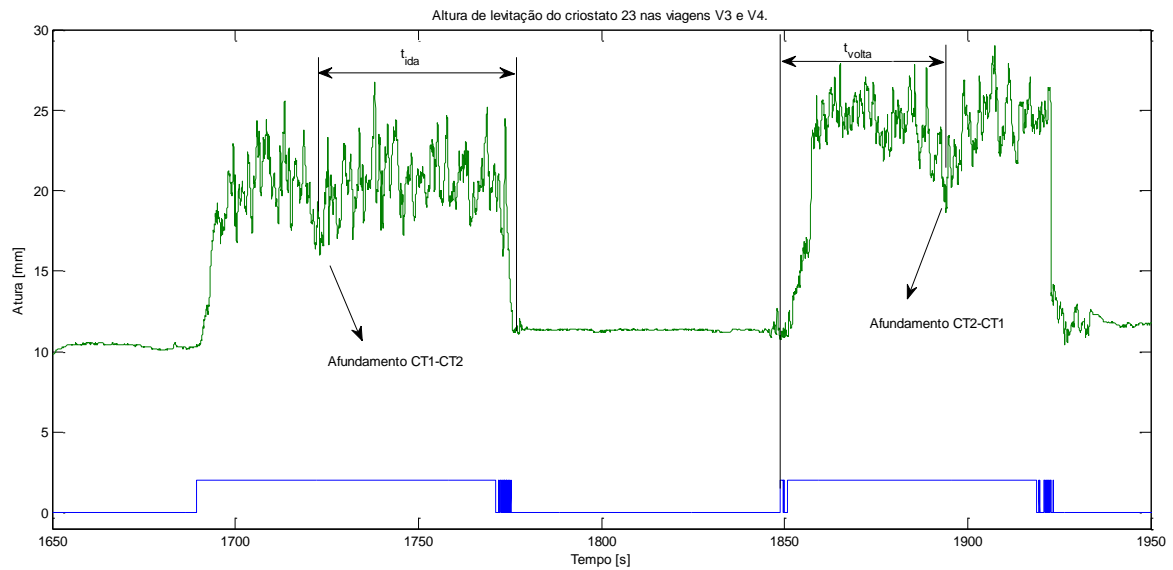



Figura 5.32 – Afundamento da altura de levitação no criostato 23 nas viagens de ida (V3) e de volta (V4).

Aumentando ainda mais o “zoom” da visualização, as alturas de levitação dos criostatos do módulo 4 foram colocadas sobrepostas em uma única figura (Figura 5.33). A sobreposição ajuda a mostrar que os criostatos 23 e 24 estão mais baixos que os 19 e 20. Como já era de se esperar por verificações visuais prévias, o “bico” do veículo está mais baixo.

A Figura 5.34 mostra as alturas de levitação do módulo 3. Os criostatos 17 e 19 estão mais baixos, isso mostra que a borracha de conexão entre os módulos sofre um esforço vertical, fazendo com que o módulo 4 (mais baixo), puxe a frente do módulo 3 para baixo, ou então, o módulo 3, mais alto, puxe a parte de traz do módulo 4 para cima. Somente um tipo de engate que permita uma movimentação vertical tornaria a levitação independente.

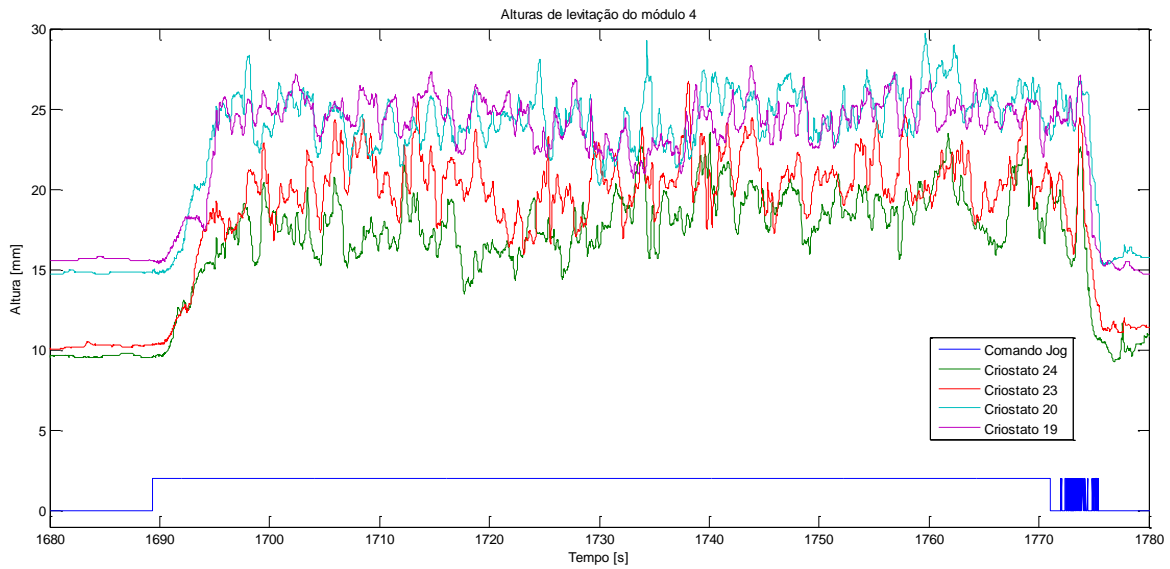



Figura 5.33 – Alturas de levitação dos criostatos do módulo 4 na viagem V3.

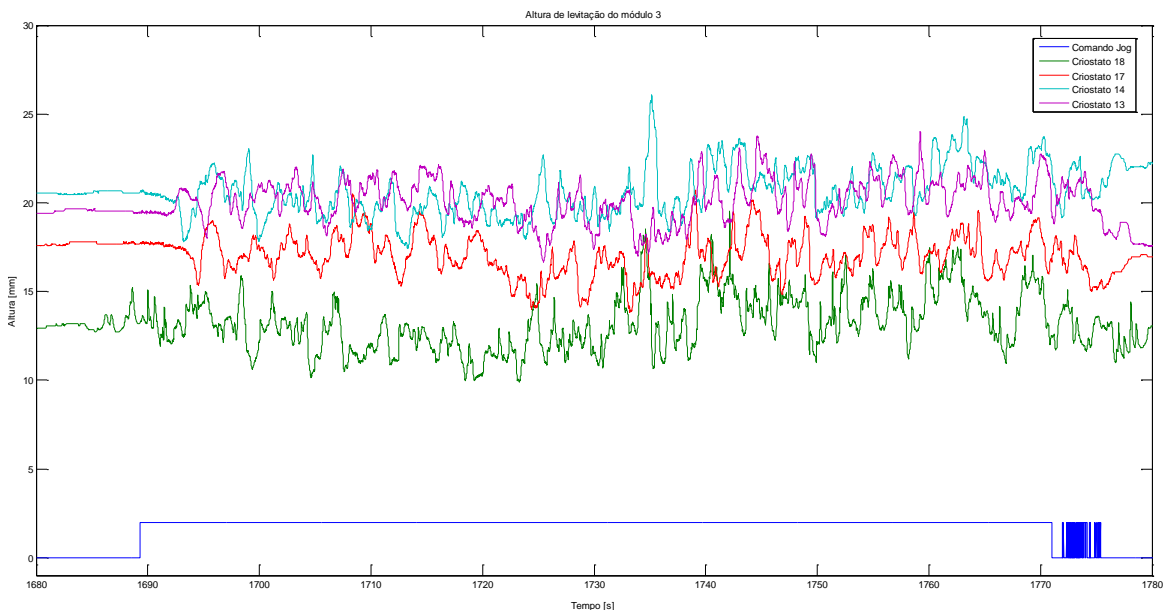



Figura 5.34 – Alturas de levitação dos criostatos do módulo 3 na viagem V3.

5.4.4 Análise dos perfis de velocidade

Para a aquisição do sinal de velocidade, o sensor Correvit Aqua L350 foi configurado para responder com 500 mV a cada ganho de 1 km/h. A velocidade nominal para todos os ensaios é de 7 km/h, o que varia são os tempos de aceleração e desaceleração. A viagem V1 possui rampas de aceleração e desaceleração iguais há dez segundos (vide Tabela 5.6). Pela Figura 5.35 pode-se imaginar que o tempo de desaceleração é maior, mas o que ocorre é que, para pequenos valores de frequência para o sinal de referência do inversor, são aplicadas pequenas tensões no motor e, como este possui um grande entreferro, demora um tempo para partir. Por outro lado, na rampa de desaceleração do inversor de frequência, a relação de controle escalar V/f não é capaz de frear totalmente o motor durante o intervalo de dez segundos. Neste caso, o MagLev só parou devido a componente da força gravitacional do plano inclinado ascendente.

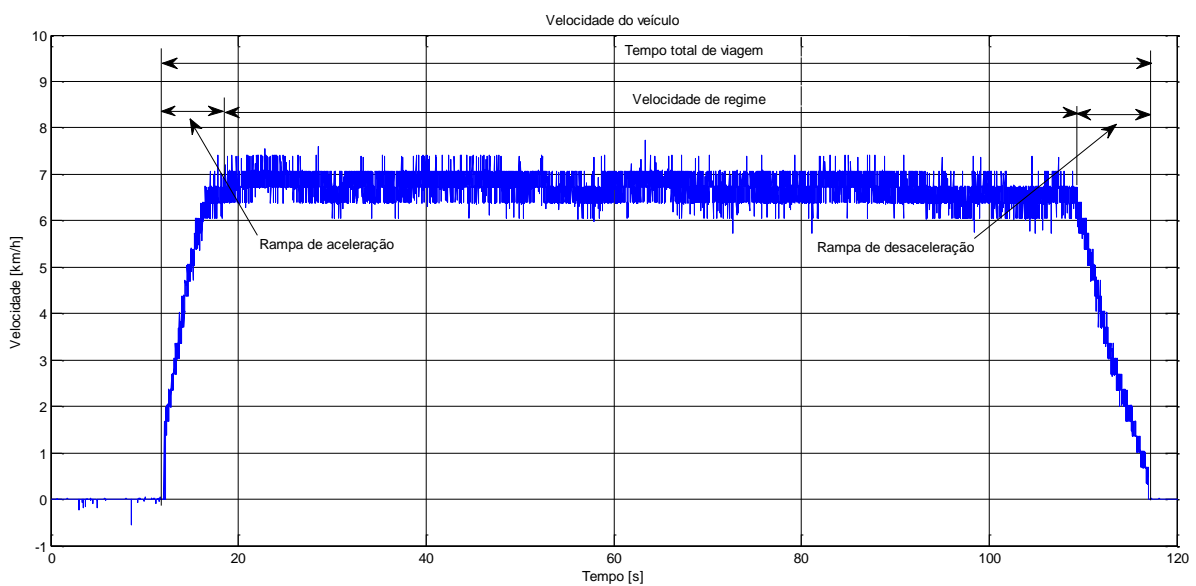



Figura 5.35 – Perfil de velocidade da viagem V1.

As diferenças entre os perfis de aceleração são mostradas na Figura 5.36. Na figura há uma normalização do momento de início das viagens, mas os intervalos de tempo de cada um dos três perfis são iguais, mantendo a proporcionalidade dos eventos de parada. Houve um ganho do tempo de viagem com a utilização de rampas de tempo mais curtas (V3=10 s; V7=5 s; V11=2,5 s), mas a discussão sobre as taxas de aceleração e desaceleração serão discutidos mais adiante, pois a norma APM trata de valores máximos permitidos para que um veículo automático possa operar.

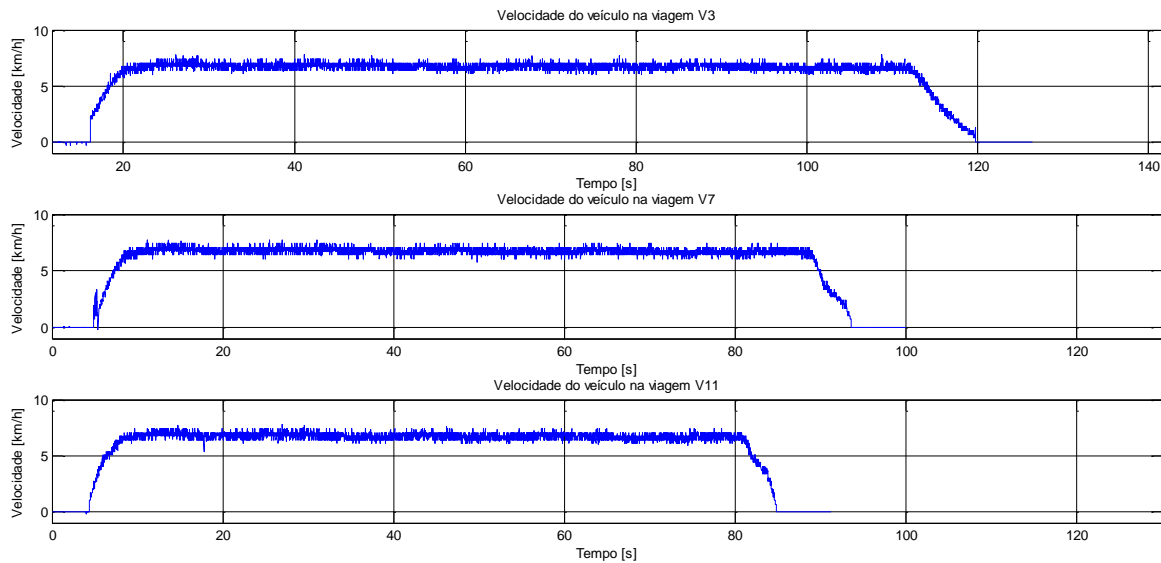



Figura 5.36 – Perfis de velocidade das viagens impares V3, V7 e V11, subida.

Na descida (viagens V4, V8 e V12), os perfis de aceleração se mantiveram parecidos com os de subida. Na desaceleração o inversor de frequência não conseguiu parar o veículo totalmente (Figura 5.37). O perfil de parada será analisado na seção 5.4.5.

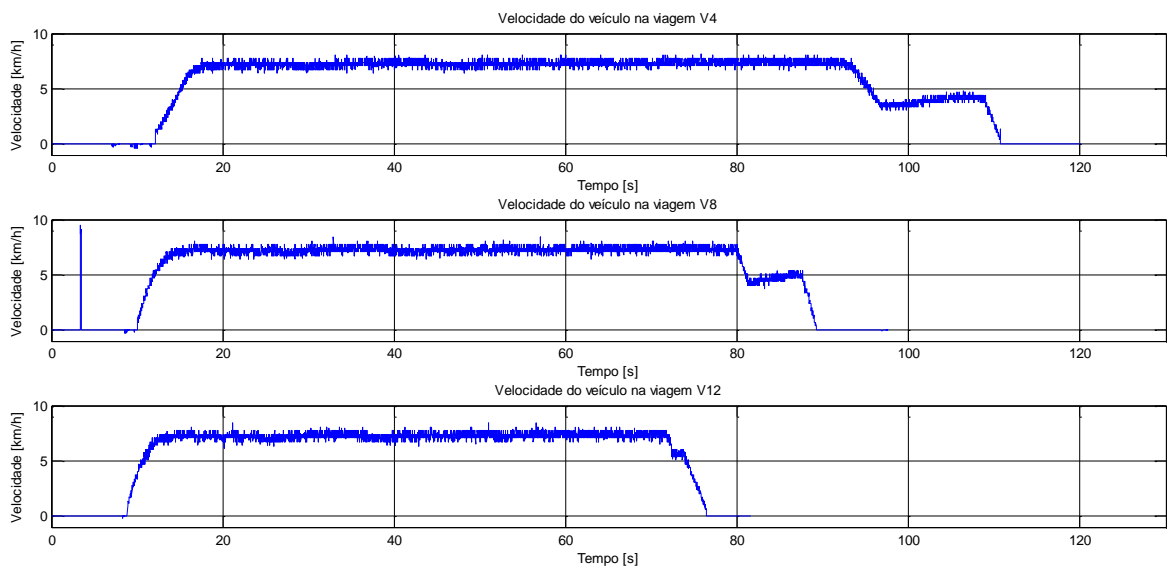



Figura 5.37 – Perfis de velocidade das viagens pares V4, V8 e V12, descida.

5.4.5 Análise de frenagem

A primeira ação de frenagem é intrínseca ao perfil de acionamento do motor linear pelo inversor de frequência. O controle do inversor é do tipo escalar V/f e

obedece a um trapézio contendo rampa de aceleração, velocidade constante e rampa de desaceleração. Na rampa de aceleração os perfis são semelhantes, mas na desaceleração, nem sempre o motor consegue ser freado pelo inversor de frequência CFW-11. A Figura 5.38 mostra uma ampliação das frenagens por redução da frequência do sinal de referência das viagens V3, V7 e V11. Nestas viagens o inversor de frequência provoca uma diminuição da velocidade até um determinado tempo e depois o veículo para devido à ação da aceleração da gravidade.

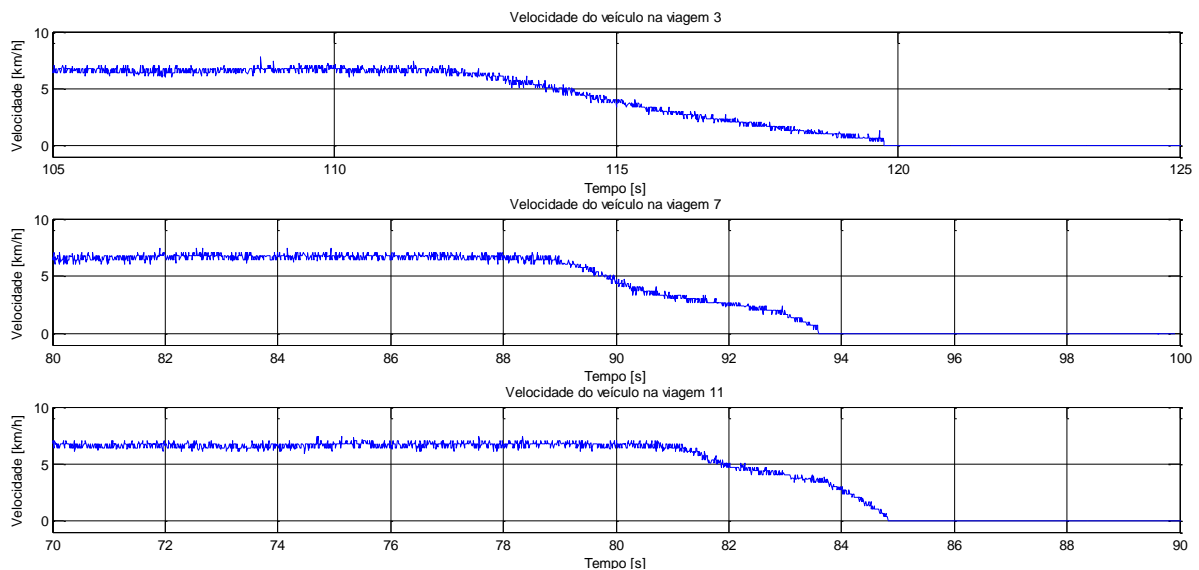



Figura 5.38 – Perfis de frenagem por redução da frequência de referência do motor linear. Viagens V3, V7 e V11, subida.

A frenagem através da relação V/f na descida é pouco eficiente. O veículo inicia um processo de frenagem e, ao final da rampa de desaceleração, fica “solto”, retomando um aumento da velocidade provocado pela aceleração da gravidade. A parada do veículo só ocorre quando o freio mecânico é acionado. O comportamento descrito acima pode ser visto na Figura 5.39. A frenagem pelo inversor de frequência é maior quando a rampa é maior. Na rampa da viagem V3, a velocidade cai de 7 km/h para 4 km/h, já na viagem V12, a velocidade é reduzida de 7 km/h para 5 km/h. Em todos os casos a frenagem CC do inversor e a frenagem CC das baterias não foram utilizadas.

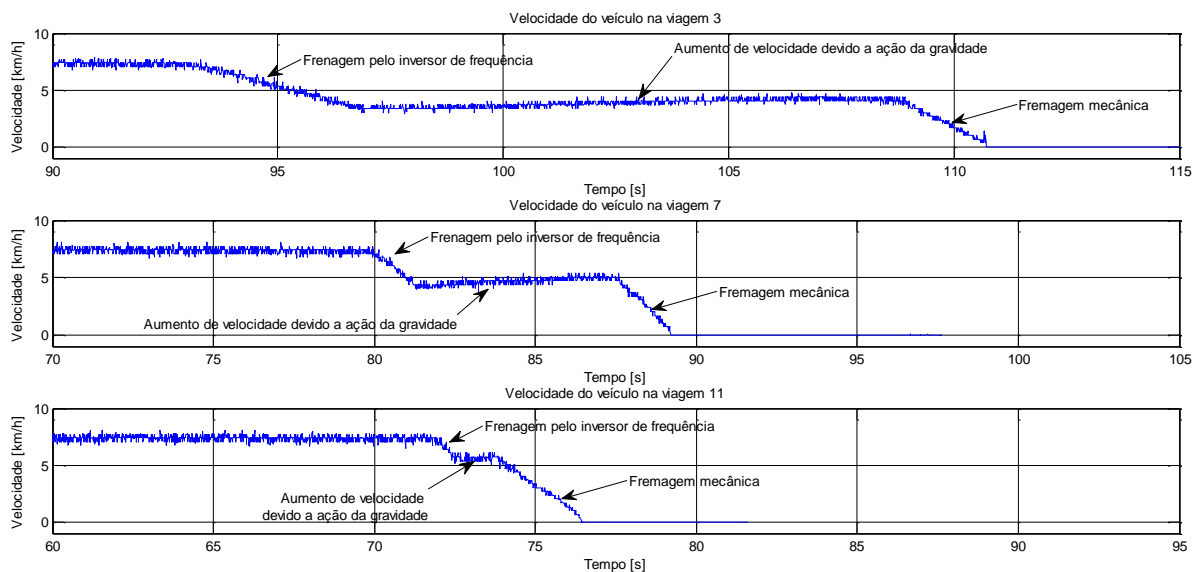



Figura 5.39 – Perfis de frenagem por redução da frequência de referência do motor linear. Viagens V3, V7 e V11, subida.

5.5 Considerações parciais

Para que um veículo se torne automático faz-se necessário conhecer a fundo as técnicas utilizadas para tracioná-lo. Neste capítulo, foram detalhadas três formas de tracionar o veículo modular MagLev-Cobra. A Tabela 5.7 mostra uma comparação qualitativa entre as três formas, considerando a massa do módulo 1 igual a 2500 kg, a massa do módulo 2 igual a 500 kg e a inclinação entre as estações de 0,61°. Através desta análise, verifica-se que o pior caso ocorre quando existe a realimentação de tração, porque nesta situação o motor com maior entreferro e, portanto, com menor capacidade de força, deve ser o responsável pelo maior esforço. Os casos em que forças são transmitidas pelo acoplamento modular são boas opções, sendo que na situação sem realimentação, existe a vantagem de não ser necessário monitorar tração nem forças, enquanto que, no caso da realimentação de força, faz-se necessário medir a massa para determinação das forças.

Tabela 5.7 – Comparação entre as simulações (M1=2500 kg; M2=500 kg e α=0,61°).

Parâmetro	Sem realimentação (Item 5.1)	Realimentação de tração (Item 5.2)	Realimentação de força (Item 5.3)
Força exercida pelos motores	Forças exercidas pelos motores Força [N] Tempo [s] Motor do módulo menos carregado assume maior parcela de carga	Forças exercidas pelos motores Força [N] Tempo [s] Cada motor assume a própria carga	Forças exercidas pelos motores Força [N] Tempo [s] Os dois motores assumem cargas iguais
Força de tração no acoplamento intermodular	Tração sobre a célula de carga Força [N] Tempo [s] Grande parte da força é transmitida de um módulo para outro	Tração sobre a célula de carga Força [N] Tempo [s] A força sobre o acoplamento entre os módulos é muito pequena, podendo ser diminuída por ação de controle.	Tração sobre a célula de carga Força [N] Tempo [s] A tração sobre a célula de carga é um pouco menor que sem realimentação
Observações	O motor do módulo menos carregado contribui com o módulo mais carregado. Há grande transmissão de força pelo acoplamento dos módulos	Cada motor é responsável pela carga do próprio módulo. A força no acoplamento pode ser minimizada a “zero”.	Os dois motores desenvolvem a mesma força independente de sua carga. Há transmissão de força pelo acoplamento

Nos testes iniciais foram utilizadas juntas esféricas para conectar os módulos modelo RBI10BD/THK, que suportam 8430 N cada. Este acoplamento atende com folga os esforços verificados nas simulações. Após os primeiros ensaios, as juntas esféricas foram substituídas por juntas de borracha, sendo que estas permitem um grau de liberdade maior considerando alturas de levitação entre os módulos quando estes estão carregados de forma desigual.

Os conhecimentos obtidos nos estudos apresentados neste capítulo permitem avaliar o necessário para tornar o MagLev-Cobra um APM. Isso será objeto dos próximos capítulos.

Os ensaios apresentados na Seção 5.4 mostraram, quantitativamente, os resultados previstos na fase de projeto. A altura de levitação variou com o acionamento do LIM, mas a interação vertical entre os módulos fez com que o módulo 4 ficasse com sua extremidade mais baixa que sua parte mais próxima ao módulo 3. O comportamento dos sistemas de frenagem testados, rampa de desaceleração e frenagem mecânica, ofereceram requisitos para análises e aprimoramentos.

6 Operação, requisitos de conforto e segurança e adequação à norma APM

A proposta de trabalho de tese se divide em duas metas. A primeira é promover a propulsão distribuída do veículo MagLev-Cobra, considerando os aspectos que influenciam na correta operação dos motores lineares, tanto em desempenho, quanto em conforto para o usuário e, também, considerando questões sustentáveis e econômicas. A segunda meta é fazer deste acionamento uma ferramenta adequada aos princípios de operação de um *Automated People Mover*.

Os ensaios comprobatórios da teoria apresentada no Capítulo 4 foram obtidos na linha de testes que liga o CT-I ao CT-II. Com esta estrutura foram realizados testes de tração e deslocamento do veículo, verificada a influência da forma construtiva do motor linear na contribuição para a levitação, a análise nas rampas de aceleração e desaceleração e as técnicas de frenagem. Com estes ensaios foi possível analisar questões relacionadas a qualidades e dificuldades para tornar o MagLev um APM, porém, estas não são as únicas condições necessárias para isso. Devem ser observadas outras questões tais como: requisitos para operação, requisitos de segurança, fatores de qualidade da operação do sistema, controle automático do trem, comunicação audiovisual, características do veículo, propulsão e frenagem, características dos equipamentos elétricos, características das estações, características dos trilhos (guias), segurança dos usuários, plano de emergência, sistema de verificação e demonstração, operação manutenção e treinamento, monitoramento operacional. Estes requisitos estão contidos na norma "*Automated People Mover*" da "*American Society of Civil Engineers*" (ASCE, 2013a). O Apêndice B é um resumo dos itens desta norma, com comentários a respeito da situação atual do MagLev-Cobra e sugestões de adequação. Os itens a seguir tratam de partes pontuais da norma em que o motor de indução linear tem relação direta.

6.1 Relação entre propulsão e os requisitos para o MagLev-Cobra se tornar um APM

Várias características do MagLev-Cobra, do LIM (Motor de indução linear- *Linear Induction Motor*), da tração, da levitação e da velocidade foram discutidos anteriormente. Esta seção trata de relacionar estas características com as exigências da norma APM. A norma utilizada como base é a *Automated People Mover Standards* da *American Society of Civil Engineers* (ASCE, 2013a). Esta norma foi escolhida por já estar consolidada ao redor do mundo e por ter norteado vários projetos de APMs comerciais. A ASCE tem experiência e vem promovendo conferências sobre o assunto ao longo dos anos. A última "*14th International Conference on Automated People Movers and Automated Transit Systems*", ocorrida em 2013, teve como tema "*Half a Century of Automated Transit"* (ASCE, 2013b). A norma brasileira equivalente, NBR 16074, é recente e é baseada na norma americana (ABNT, 2012), por este motivo a opção de utilizar a "norma fonte".

Os itens a seguir são detalhamentos do Apêndice B. Só serão detalhados aqui, itens que tenham alguma relação com o motor linear, com os sistemas de propulsão e com dispositivos associados. Os demais itens da norma não fazem parte do escopo deste trabalho e contam apenas com sugestões no Apêndice B. A norma é dividida em dezesseis capítulos. Estes capítulos trazem diretrizes a serem seguidas para que um veículo seja aceito como um *Automated People Mover*. A seguir o assunto de que trata cada capítulo:

- Capítulo 1 – Traz um resumo da norma, normas de referência e definições.
- Capítulo 2 – Trata de condições ambientais de operação.
- Capítulo 3 – Aborda requisitos de segurança.
- Capítulo 4 – Estabelece padrões de confiabilidade do sistema.
- Capítulo 5 – Aborda questões do sistema de Controle Automático de Trem (ATC- *Automatic Train Control*) e seus subsistemas.

- Capítulo 6 – Comunicações audiovisuais são abordadas neste capítulo.
- Capítulo 7 – Aborda as características do veículo.
- Capítulo 8 – Neste capítulo a propulsão e a frenagem são detalhadas.
- Capítulo 9 – Especifica as características exigidas dos equipamentos elétricos.
- Capítulo 10 – Aborda as características das estações.
- Capítulo 11 – Detalha as características dos trilhos.
- Capítulo 12 – Segurança.
- Capítulo 13 – Traça diretrizes a serem seguidas em situações de emergência.
- Capítulo 14 – Verificação do sistema e demonstração.
- Capítulo 15 – Regulamenta a operação, manutenção e treinamentos.
- Capítulo 16 – Monitoramento operacional.

Para facilitar a localização do item da norma APM que se pretende abordar, as subseções seguintes trarão entre parênteses o número do tópico da norma APM da qual está havendo o detalhamento. As seções desta tese serão tratadas como “Seções” e as seções da norma APM serão tratadas como “item APM”.

6.1.1 Compatibilidade eletromagnética (item APM 2.1.8)

Interferências eletromagnéticas podem afetar o desempenho de sensores, atuadores, comandos e redes de comunicação. O motor linear e alimentado pelo inversor de frequência CFW-11, que possui módulos de potência chaveados com até 10 kHz. Este chaveamento de alta frequência pode causar interferências indesejadas no sistema. Dentre os componentes do veículo, o CFW-11 foi identificado como a principal fonte potencial de ruído eletromagnético. Para mitigar o problema, foram tomadas todas as medidas especificadas pelo fabricante do inversor. A principal delas é a blindagem e aterramento dos cabos de alimentação dos motores. Diferentemente dos veículos

convencionais roda-trilho, não é possível aterrar o veículo e suas partes através do contato das rodas com o trilho, por este motivo o MagLev-Cobra conta com um trilho exclusivo para aterramento. A Figura 6.1 mostra o trilho de aterramento necessário para fazer o aterramento do cabo de alimentação do primário do motor linear. Este trilho possui uma faixa verde e o isolador da escova coletora também é verde para melhorar sua identificação.

Figura 6.1 – Trilho adicional de aterramento com identificação na cor verde.

A WEG, fabricante do CFW-11, garante que seu equipamento está dentro das especificações internacionais de conformidade com as interferências eletromagnéticas e atende nas normas IEC/EM 61800 e IEC 61000 (WEG, 2013a). O Anexo I mostra os certificados emitidos para o CFW-11. A Figura I.1 traz a declaração de compatibilidade eletromagnética EMC (*Electromagnetic Compatibility*) EN 61800-3:2004 e a diretiva EMC *Directive* 2004/108/EC.

6.1.2 Radiação eletromagnética (item APM 2.2.3)

A norma APM trata, no seu item 2.2.3, da necessidade de todos os equipamentos instalados no veículo estarem em conformidade com normas de emissão de radiação eletromagnética.

Os conversores, sensores, atuadores, IHM, baterias, etc. são equipamentos estabelecidos no mercado e seus certificados serão auditados no processo de certificação do veículo e devem ser fornecidos pelos respectivos fabricantes. Os componentes não industrializados são o LIM e o trilho de ímãs. Estes dois ainda não possuem certificados de conformidade com a radiação eletromagnética emitida. Para a certificação do conjunto será necessário a certificação individual de cada uma das partes, para isso,

estes dois itens, produzidos com tecnologia própria, precisam passar por certificação individual.

6.1.3 O sistema ATC (*Automatic Train Control*) (item APM 5)

O sistema ATC é composto pelos subsistemas ATP (Automatic Train Protection), ATO (Automatic Train Operation e ATS (Automatic Train Supervision). Cada subsistema é detalhado na norma, determinando as exigências mínimas de um APM. O MagLev-Cobra é, estruturalmente, parecido com os trens convencionais, possui estações, veículo e linha. O sistema ATC pode ser implantado sem muitas adequações a este caso particular de veículo.

Atualmente o MagLev-Cobra opera na condição manual. A norma APM, nas especificações de ATC, prevê a operação manual somente em alguns casos extremos como testes, recuperação, manutenção e falhas. A experiência adquirida com a operação manual do MagLev pode ser revertida em procedimentos do ATC nas situações previstas para o veículo operar no modo manual.

6.1.4 Proteção de coesão das partes (item APM 5.1.6)

Pelas definições da norma APM, o MagLev-Cobra deve ser considerado um único veículo. Para ser considerado um comboio, deve ser possível o desacoplamento dos vagões em pátios de manobra e estações, com a finalidade de compor comboios de tamanhos desejados. Embora o MagLev-Cobra seja modular, só é possível o desacoplamento dentro da oficina, com intervenção da equipe de manutenção, levando ao conceito de veículo único e não comboio. Feitas as considerações, o subsistema ATP, prevê que as junções de diferentes vagões devem conter dispositivos sensores que detectem a separação indevida do comboio e, assim, evitem acidentes na via.

Atualmente o MagLev-cobra não conta com sensores de separação e, embora não se enquadre como comboio pelas definições da norma, deve possuir estes dispositivos, visto que o rompimento de uma junta ou o desacoplamento total, oferecem riscos de segurança. Os módulos 1 e 4 do MagLev possuem coletores de energia e

tração independentes, um desacoplamento não resultaria necessariamente em uma separação dos módulos, visto que os motores operam sincronizados por um mesmo sinal de referência, mas, de acordo com a seção 0, se os módulos possuírem cargas diferentes, os motores possuirão comportamentos de forças diferentes, causando a separação dos módulos e, posteriormente, o rompimento dos cabos de comunicação, provocando a perda dos sinais de controle.

6.1.5 Sistema supervisório (item APM 5.3)

Para atender aos requisitos do sistema ATC da norma APM, o subsistema ATS não deve interferir nos subsistemas ATP e ATO. Permitindo que, em condições extremas de perda total do ATS, o veículo ainda possa ser conduzido em condições seguras.

O centro de comando que será instalado no LESFER deverá contar com um computador e um monitor exclusivos para o subsistema ATS. Nos monitores serão apresentados todas as leituras dos sensores de altura, temperatura dos criostatos, status das válvulas de enchimento dos criostatos, condições dos fins de curso, posição, velocidade, etc. Além destas informações que são exclusivas do MagLev-Cobra, as informações obrigatórias previstas na norma, também devem ser mostradas.

O MagLev-Cobra já possui um sistema supervisório embarcado. Este conta com dois monitores IHM *touchscreen* conectados aos controladores e inversores, que por sua vez, estão conectados a sensores e atuadores. Na Figura 6.2 tem-se uma visão interna do módulo 1 com a IHM.

Figura 6.2 – Interface Homem Máquina (IHM) que faz parte do sistema supervisório interno do MagLev-Cobra.

6.1.6 Capacidade de carga do veículo (item APM 7.1)

A capacidade do veículo APM é dada por passageiros/m². Para determinar esta capacidade devem ser considerados os níveis de carregamento. A norma APM prevê quatro níveis de carregamento:

- AW0 – é a carga total do veículo sem passageiros;
- AW1 – é a carga total do veículo. Considerando AW0, mais o peso de cada passageiro, que é de 712 N (≈ 71,2 kg), multiplicando pela capacidade estipulada de projeto;
- AW2 – é a carga máxima em que o veículo pode operar mesmo que a capacidade de projeto tenha sido ultrapassada;
- AW3 – é a carga de esmagamento, que é encontrada somando-se AW0 mais a carga de 5,120 N/m². Nestas condições o veículo não pode operar.

O cálculo das cargas máximas do MagLev-Cobra são mostradas a seguir. Considerando o veículo descarregado, AW0 é igual a 21.000 N, ou seja, 4000 N (≈400 kg) por cada módulo central e 6500 N (≈ 650 kg) para os módulos das extremidades. Cada módulo possui seis criostatos com capacidade de 2500 N cada, portanto, veículo pode suportar 60000 N (AW2). Em média, a área de piso de cada módulo é de 2,7 m² (Vide Figura 6.3), totalizando 10,8 m², a área do piso foi reduzida em aproximadamente 30% devido à instalação de compartimentos dos sistemas de freios, de portas, de consoles de comando e IHM, a área útil de piso ficou reduzida a 7,56 m² ($Área_{útil}$). Portanto, a capacidade máxima do MagLev é dada pelas equações

$$AW2 = AWO + 712N.Pass_{Max} \therefore$$
$$Pass_{Max} = \frac{AW2 - AW0}{712N/Pass} = \frac{60000N - 21000N}{712N/pass} = 54\ Pass \tag{6.1}$$

e

$$Cap_{Max} = \frac{Pass_{Max}}{Área_{útil}} = \frac{54\ Pass}{7{,}56m^2} = 7\ Pass/m^2. \tag{6.2}$$

Onde: $Pass_{Max}$ é o número máximo de passageiros e Cap_{Max} é a capacidade máxima do veículo.

A capacidade de projeto foi fixada em dois passageiros por metro quadrado, portanto a quantidade de passageiros de projeto é dada por,

$$Pass_{Proj} = Cap_{Proj}.\acute{A}rea_{\acute{u}til} = 2\frac{Pass}{m^2}.7{,}56m^2 = 15\ Pass. \qquad (6.3)$$

Onde: $Pass_{Proj}$ é o número de passageiros de projeto e $\mathrm{Cap}_{\mathrm{Proj}}$ é a capacidade de projeto do veículo.

O carregamento de projeto é definido por,

$$AW1 = AWO + 712N.Pass_{Proj} = 21000N + \frac{712N}{Pass}.15Pass$$
$$= 31.680N\ . \qquad (6.4)$$

O carregamento de esmagamento é dado pela equação

$$AW3 = AWO + \frac{5.120N}{m^2}.\acute{A}rea_{\acute{U}til}$$
$$= 21000N + \frac{5.120N}{m^2}.7{,}56m^2 = 59.707\ N\ . \qquad (6.5)$$

Analisando os carregamentos, verificou-se que AW2 é maior que AW3, nestas condições a norma orienta considerar AW2 igual a AW3. Com essa consideração, faz-se necessário recalcular a capacidade máxima. Como os valores de AW2 e AW3 eram muito próximos, a consideração de que AW2 passaria de 60.000 N para 59.707 N resultou na mesma capacidade máxima de sete passageiros por metro quadrado.

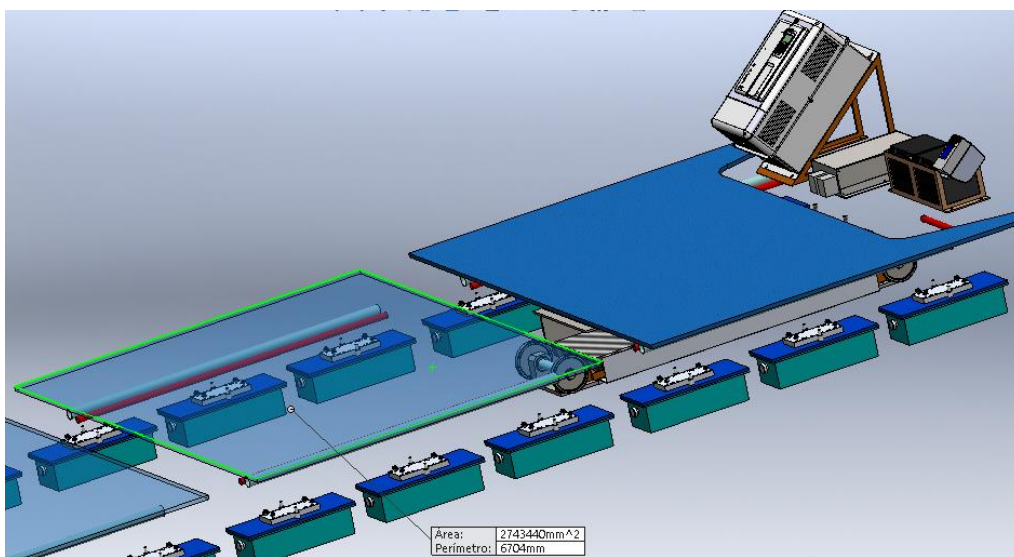



Figura 6.3 – Área do piso de um dos módulos do MagLev-Cobra. Componentes que envolvem o piso foram suprimidos nesta figura

6.1.7 Folga nas estações (item APM 7.3)

Durante os ensaios da seção 5.4, verificou-se a variação de altura dos módulos, principalmente os que possuíam tração, no caso em questão, o módulo 4. A variação de altura é importante devido às rígidas exigências da norma APM. Em veículos que operam em baixa velocidade, menor que 32 km/h, a distância mínima entre a estação e o módulo não deve passar de 25 mm e o desnível máximo entre o piso do veículo e o piso da estação é de 12 mm. As medições devem ocorrer em condições de embarque, com o veículo parado e com as portas abertas. Nas condições mostradas na Figura 6.4, os valores de distância e altura apurados estavam dentro das especificações da norma. Os valores devem se manter dentro do padrão nas condições de carregamento AW0 e AW1.

Figura 6.4 – Medição das folgas entre o MagLev-Cobra e a estação. a) ponto de medição com o veículo parado, travado e com as portas abertas; b) ampliação do ponto de medição.

6.1.8 Qualidade da viagem (item APM 7.7.3)

A norma APM define limites de aceleração laterais, verticais, longitudinais em condição normal e, longitudinais, em condições de emergência. Destas quatro condições, somente as três últimas serão consideradas, sendo a primeira descartada porque a linha não possui curvas. A Tabela 6.1 mostra os limites aceitáveis de aceleração.

Tabela 6.1 – Limites máximos de aceleração aceitáveis.

Direção	Passageiros em pé	Passageiros sentados
Vertical	± 0,05 g	± 0,25 g
Longitudinal Normal	± 0,16 g	± 0,35 g
Longitudinal Emergência	± 0,32 g	± 0,60 g

Onde g é a aceleração da gravidade.

De acordo com a equação (5.6), a máxima aceleração possível para o veículo totalmente carregado é de 0,3 m/s², isso resulta em uma aceleração de aproximadamente 0,03 g, que é menor que qualquer um dos valores da Tabela 6.1. Mas se no plano de operação do MagLev for determinado que o veículo só poderá operar nas condições de carregamento AW0 e AW1, as acelerações máximas possíveis mudarão para,

$$a_{AW0} = \frac{Força\ máxima\ dos\ motores}{Massa\ do\ veículo\ descarregado} = \frac{1800N}{AW0/g} = \frac{1800N}{21.000N/g} = 0{,}086\ g \tag{6.6}$$

e

$$a_{AW1} = \frac{Força\ máxima\ dos\ motores}{Massa\ de\ projeto\ do\ veículo} = \frac{1800N}{AW1/g} = \frac{1800N}{31.680N/g} = 0{,}056\ g. \tag{6.7}$$

Em ambas as condições as acelerações normais e de emergência não foram ultrapassadas. Falta verificar a componente vertical. Para o pior caso, a aceleração vertical é dada por:

$$a_{Vert} = a_{AW0}.sen(\theta) = 0{,}086g.sen\ 0{,}61° = 0{,}001\ g. \tag{6.8}$$

Onde: a_{Vert} é a aceleração vertical e θ é o ângulo de inclinação da via.

Após todas as verificações conclui-se que o MagLev sempre irá operar em condições confortáveis de aceleração.

6.1.9 Fiação elétrica (item APM 7.12.3)

O cabeamento do veículo deve ser de cobre puro. A fiação deve ser claramente identificada de acordo com o esquema elétrico do veículo para facilitar a identificação pela equipe de manutenção e a solução de problemas. A fiação de controle deve ser fisicamente isolada da fiação de energia para evitar interferência eletromagnética.

Par atender este item da norma, foi elaborado o projeto elétrico do MagLev-Cobra com as identificações de todas as conexões de sensores e atuadores. O projeto elétrico elaborado é mostrado no Apêndice D.

6.1.10 Coletores de energia (item APM 7.12.4)

Os coletores de energia conectam três barramentos de energia da via para o veículo. O barramento positivo alimenta o veículo com tensão contínua de 534 VCC e sua referência esta em outro barramento com tensão 0V. O terceiro barramento é o de aterramento, este barramento já foi mencionado na Seção 6.1.1. A Figura 6.5.a mostra a distribuição das bases de sustentação dos barramentos. O ponto de conexão entre os cabos de alimentação e os barramentos é mostrado na Figura 6.5.b.

a) b)

Figura 6.5 – Barramentos de alimentação do MagLev-Cobra. a) distribuição das bases de sustentação dos barramentos; b) ponto de conexão entre os cabos de alimentação e os barramentos.

6.1.11 Aterramento (item APM 7.12.5)

O aterramento das partes do MagLev-Cobra deve ser criteriosa e obedecer as diretrizes fornecidas por fabricantes e normas específicas. O cabo blindado que interliga o inversor CFW-11 e o primário do LIM deve ser aterrado em apenas uma de suas extremidades, conforme manual do usuário (WEG, 2013a), para eliminar problemas relacionados à compatibilidade eletromagnética.

Outro problema que deve ser eliminado é a circulação de corrente entre primário e secundário provocada pelo uso do inversor com técnica de chaveamento PWM. Em máquinas rotativas, a circulação de corrente entre estator e rotor causa a deterioração dos rolamentos (WEG, 2010). No LIM da linha de testes ocorria o centelhamento quando a roda de segurança do primário tocava o secundário. A longo prazo isso poderia danificar o LIM. A primeira solução para minimizar o problema foi a substituição das rodas metálicas de segurança por outras de material isolante. Em complementação a esta solução foi feito o aterramento do primário e do secundário do LIM. Esta solução se baseia na que é dada para motores rotativos, nos quais escovas de aterramento são instaladas na parte externa do eixo do motor para promover o aterramento, colocando estator e rotor no mesmo potencial elétrico, impedindo a circulação de correntes provocadas pelas “tensões de modo comum” (WEG, 2010).

6.1.12 Funções da frenagem (item APM 8.3)

A norma APM prevê três funções para as frenagens. São elas: a frenagem de serviço, frenagem de emergência e frenagem de estacionamento.

Por norma, os freios de serviço devem atender as condições de carga e serviço previstas sem superaquecimento. No MagLev-Cobra, os freios de serviço são os do motor linear, primeiramente a frenagem é por rampa de desaceleração e em seguida por freio CC. Para evitar o superaquecimento dos motores elétricos, a norma APM determina que sensores de temperatura e/ou sensores de sobrecorrente sejam instalados nos motores elétricos (item APM 7.10.2). O aquecimento maior do motor ocorre nas barras de curto circuito, situadas no secundário do motor. Como no secundário não há bobinamentos de fios de cobre com esmalte isolante, sua capacidade térmica é elevada.

Para o primário, deve haver uma atenção maior. Na configuração atual ele não possui sensor de temperatura, mas o fato do inversor CFW-11 possuir proteção para sobrecorrente, faz com que a norma seja atendida quanto à questão de superaquecimento.

Ainda segundo a norma, deve ser possível parar o veículo apenas com o “freio de atrito” na frenagem de emergência. Os comandos de frenagem de emergência deverão ter prioridade sobre quaisquer outros comandos. O comando de parada de emergência deve ser irrevogável. Fontes de energia que atendem o freio devem ser redundantes. Um sistema de parada de emergência embarcada deve ser previsto. As paradas de emergência não devem danificar nenhum tipo de dispositivo do sistema. Para atender estes requisitos, o sistema de “freios de atrito” (ou freio mecânico) possui sapatas de freio que se “pinçam” ao secundário do motor linear. Dois sistemas de energia embarcados são responsáveis pela manutenção da capacidade de frenagem: um conjunto de baterias e um tanque de óleo do sistema hidráulico. O sistema de supervisão deve monitorar tanto o nível de tensão das baterias, quanto a pressão no tanque de óleo, para garantir que o sistema terá energia suficiente para frenagem de emergência.

Na frenagem de estacionamento, os freios devem ser capazes de manter o veículo imóvel o tempo suficiente para a saída de todos os passageiros, no caso de parada por emergência e perda total de energia. Tempos maiores podem ser exigidos em caso de paradas sem perda de energia (mínimo de 24H). No caso da parada de emergência sem perda de energia, a exigência é maior, pois pode ser necessário manter os passageiros dentro do trem para evitar que entrem em contato com os trilhos energizados. Os elementos de frenagem de estacionamento podem ser os mesmos dos de frenagem de emergência.

6.1.13 Segurança em equipamentos elétricos (item APM 9.1.1)

A segurança em equipamentos elétricos deve ser assegurada por rígidos critérios de projeto e de escolha de materiais. Todas as partes do veículo, das vias e das edificações envolvidas devem obedecer a normas de segurança em eletricidade. Conforme Anexo I, o CFW-11 possui declaração de conformidade com as normas de segurança EN 50178:1997 (equipamento eletrônico para uso em instalações de energia),

EN 60204-1-2006 (segurança de máquinas – equipamentos elétricos de máquinas), IEC 61800-5-1:2007 (*drivers* elétricos de potência para sistemas de velocidade ajustável- Requisitos de segurança- elétrico, térmico e de energia). Da mesma forma, deve-se investigar os demais equipamentos quanto à certificação.

6.1.14 Verificação e demonstração do sistema (item APM 14 e 14.3.2)

A verificação e demonstração devem obedecer a um roteiro pré-estabelecido no plano de verificação do sistema. A sequência de verificação é mostrada na Figura 6.6. A sequência começa com a inspeção de componentes individuais (A, B, C, D) e passa para seus desdobramentos em um ou mais componentes de uma segunda camada (E, F,G). Após as inspeções e ensaios de todos os sistemas, são necessários testes integrados dos componentes (H). A inspeção e ensaio do sistema (I) é a última etapa antes das demonstrações (J).

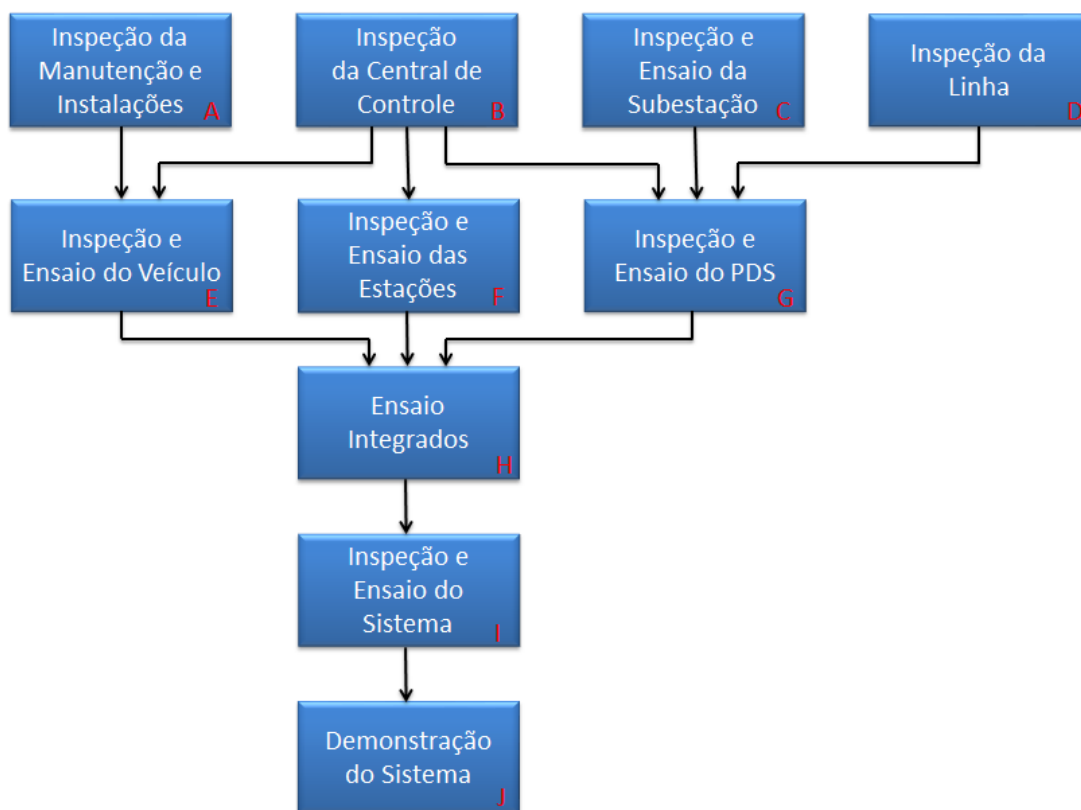



Figura 6.6 – Sequência de inspeção do sistema; onde PDS é o Sistema de Distribuição de Energia (*Power Distribution System*).

Aproveitando a sequência de inspeções e ensaios apresentada. Foi elabora a distribuição de itens da norma APM a serem inspecionados e testados (Figura 6.7). Desta forma é possível fazer um *cheklist*, item a item, separado por partes do sistema e para a sua sintetização nos ensaios integrados.

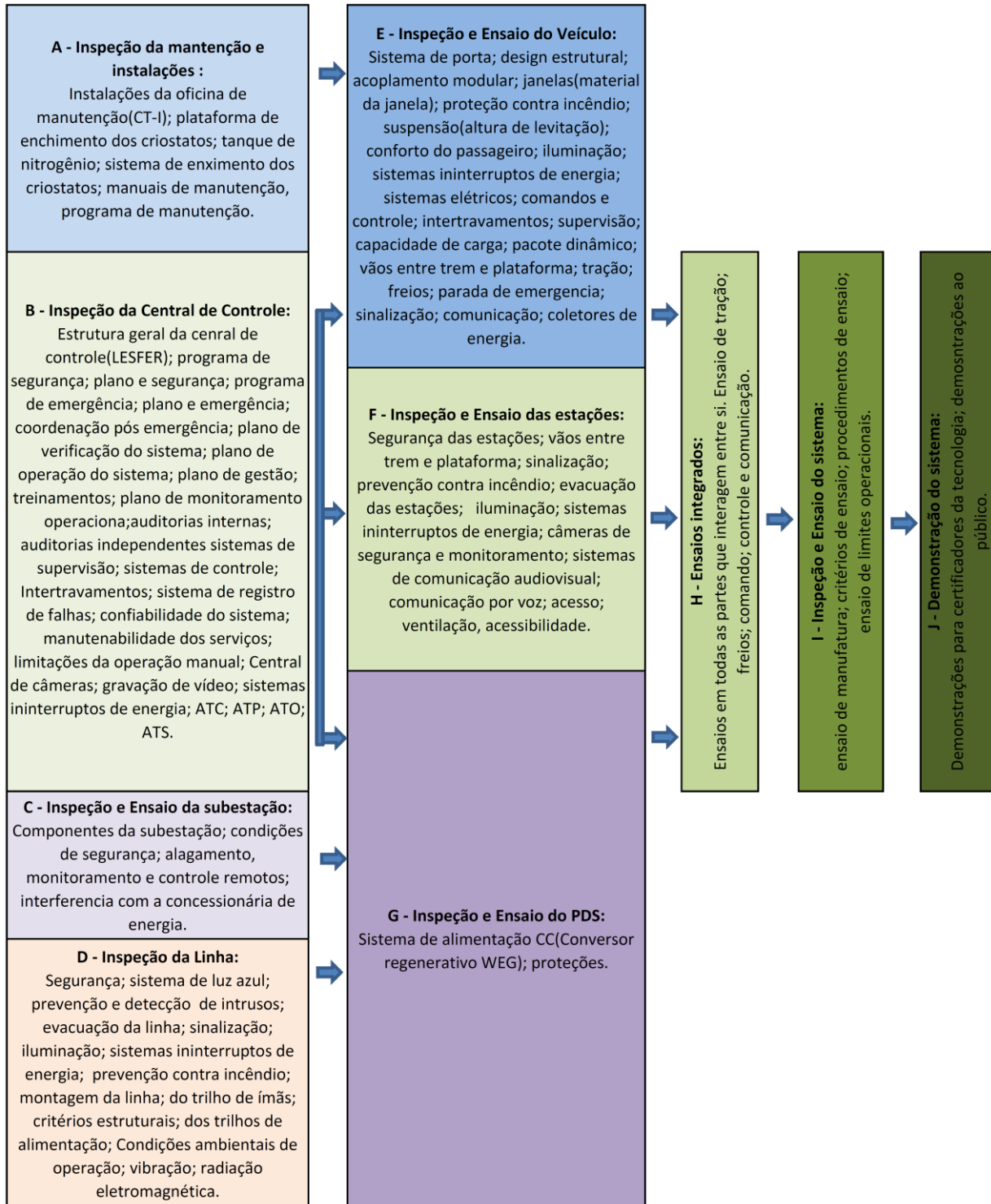



Figura 6.7 – Itens a serem verificados e ensaiados no sistema completo e em cada componente do sistema.

6.2 Certificação da linha de testes

Um passo importante para colocar um veículo que transporta pessoas em funcionamento é a sua certificação. A certificação é um atestado de que todas as exigências de normas regulamentadoras para aquele tipo de veículo foram atendidas. O processo de certificação é longo e deve, preferencialmente, acompanhar todas as fases do projeto. Empresas certificadoras independentes são capazes de orientar sobre possíveis problemas que implicarão em retrabalho caso não sejam corrigidos na etapa de concepção do projeto. O MagLev-Cobra encontra-se no início da fase de testes e não possui um contrato com empresa certificadora até o momento.

6.2.1 Empresas certificadoras

As empresas certificadoras que possuem características adequadas ao trabalho junto ao MagLev-Cobra são as do ramo ferroviário. No processo de certificação os componentes são desmembrados por partes principais, como por exemplo, veículo, via, estações, centros de controle, etc. Cada uma destas partes é desmembrada em componentes individuais, que são auditados um a um. Desta forma evita-se que o sistema possua componentes que enfraqueçam a robustez do conjunto.

Há no mercado empresas que podem certificar o MagLev-Cobra, três empresas foram consultadas sobre como conduzir o processo. Uma delas propôs gerenciar o processo de certificação estabelecendo etapas e cronogramas e contratando empresas que possuam experiência no mercado para certificarem as partes nas quais ela não tem atributos técnicos para avaliar. Outra propôs certificar o projeto inteiro, pois possui experiência em certificação ferroviária. A terceira conta com experiência em certificação de veículos de levitação magnética e foi responsável pela certificação do Transrapid de Xangai e pela instalação de testes Transrapid-Versuchsanlage Emsland. Nos tópicos a seguir serão detalhadas as três propostas de técnicas e métodos para certificar o MagLev-Cobra. As empresas serão identificadas como “EMPRESA A”, “EMPRESA B” e “EMPRESA C”.

- **Proposta da “EMPRESA A” para gerenciamento de projeto**

Nesta proposta a empresa certificadora se envolve diretamente com o projeto, fazendo propostas, elaborando planos, organizando documentos, etc. Mas as auditorias são independentes, ficando a cargo de empresas contratadas pelos responsáveis pela certificação. Para direcionar os trabalhos a empresa consultada dividiu o processo em cinco etapas, a saber:

Etapa 1: Localizar, compilar e analisar material bibliográfico, *websites*, normas de certificação e outras fontes aplicáveis ao MagLev-Cobra;

Etapa 2: Contatar entidades como o INMETRO e o Comitê Brasileiro Metroferroviário (ABNT/CB06) para estabelecer diretrizes gerais para a certificação do MagLev-Cobra;

Etapa 3: Estabelecer a estrutura de certificação para o MagLev-Cobra, incluindo a listagem dos documentos, testes, inspeções e verificações necessários para a certificação;

Etapa 4: Elaborar o plano para adequação do MagLev-Cobra aos requisitos de certificação definidos.

Etapa 5: Identificar e contratar organismos de certificação de produtos.

Com estas cinco etapas estabelecidas, foi criado um cronograma de execução. O prazo para realização dos trabalhos é de um ano e é mostrado na Tabela 6.2. A proposta traz, ainda, um detalhamento de cada uma das etapas e um orçamento.

Tabela 6.2 – Cronograma apresentado pela “EMPRESA A”.

	Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Mês 5	Mês 6	Mês 7	Mês 8	Mês 9	Mês 10	Mês 11	Mês 12
Etapa 1	■	■	■	■								
Etapa 2				■	■	■						
Etapa 3						■	■	■	■			
Etapa 4								■	■	■	■	■
Etapa 5											■	■

- **Proposta da “EMPRESA B” para certificação direta**

A empresa consultada possui experiência internacional em certificação de ferrovias. Seu processo de auditoria é completamente independente, ou seja, não há interação entre o auditor e o auditado. O auditor limita-se a aprovar ou reprovar o item sob avaliação, no caso de reprovação, emite parecer indicando o porquê da reprovação, sem, em momento algum, sugerir quais alterações deverão ser feitas. Esta independência é importante para evitar que o auditor seja induzido, inconscientemente, a aprovar algo, por estar familiarizado com a solução dada a um problema ao qual opinou.

Esta empresa sugeriu cursos de qualificação do pessoal envolvido com o MagLev-Cobra, antes de enviar uma proposta formal. As etapas seguintes ao curso são uma pré-avaliação (*pre assessment*), para investigar como o projeto se desenvolveu até o ponto atual e uma avaliação (*assessment*) para verificar os principais aspectos de segurança a serem atendidos. A Tabela 6.3 traz onze perigos genéricos que devem ser mitigados na análise inicial. Nota-se que serão necessárias adaptações para a situação do MagLev-Cobra, como por exemplo, nas condições atuais da linha de testes, o risco de afogamento (item 10) não necessita de mitigação. Depois de cumpridas as etapas de pré-avaliação e de avaliação, um contrato de certificação deve ser firmado.

Tabela 6.3 – Lista de acidentes genéricos que devem ser mitigados.

N°	AG – Acidentes Genéricos
1	Colisão
2	Descarrilamento / Tombamento do trem
3	Queda de pessoas
4	Acidente pessoal provocado por contato, choque ou projeção de objetos
5	Explosão ou vazamento de produtos nocivos
6	Pessoas presas ou enganchadas ao trem
7	Atrasos na evacuação dos passageiros
8	Incêndio
9	Queimaduras, eletrocussão ou ferimentos leves de passageiros
10	Asfixia, sufocamento ou afogamento
11	Riscos diversos

• **Proposta da “EMPRESA C” para certificação direta**

Esta empresa faz algumas recomendações sobre como conduzir o processo e baseia-se no processo de certificação da Autoridade Federal Alemã Ferroviária (EBA - *Eisenbahn-Bundesamt*). A “EMPRESA C” considera que o primeiro passo é dividir o sistema MagLev-Cobra em vários subsistemas. Sugerindo uma subdivisão da seguinte forma:

- Veículo;

- propulsão e fonte de alimentação;

- trilho e

- sistemas de controle e de comunicação relacionados com a segurança.

Para cada subsistema deve ser realizada uma certificação independente.

6.2.2 Normas para certificação

A certificação deve ser pautada em normas aplicáveis ao projeto. A opção de se trabalhar apenas com normas nacionais ou apenas com normas internacionais não é viável. Deve-se, sempre, optar pela norma que melhor atenda às particularidades do projeto. É possível que durante o processo, conclua-se que um conjunto de normas específico atenda a todas as necessidades.

• **Proposta da “EMPRESA A” para as normas a serem adotadas**

As normas devem ser escolhidas durante a Etapa 1 da proposta de certificação da “Empresa A”. Segue trecho da proposta:

“Esta etapa será operacionalizada através de pesquisa exploratória, reuniões e seminários internos (equipe da UFRGS/UFSM/UFRJ) e externos (organismos de certificação, comitês brasileiros de normalização). Dessa forma, os documentos identificados serão estudados em detalhe, buscando identificar os requisitos adequados à certificação do MagLev-Cobra.”

“Ao final desta etapa será disponibilizada uma lista com uma breve descrição do conteúdo dos documentos pesquisados relacionados à certificação do MagLev-Cobra.”

- **Proposta da “EMPRESA B” para as normas a serem adotadas**

A “Empresa B” já possui uma metodologia e um conjunto de “normas bases” a serem adotadas. As normas adotadas são do Comitê Europeu de Normalização Eletrotécnica (CENELEC), são elas:

- EN50126, Aplicações ferroviárias: Especificação e demonstração de RAMS. Onde a sigla significa *Reliability, Availability, Maintainability and Safety* (Confiabilidade, disponibilidade, *Maintainability* e segurança). A palavra *Maintainability* ainda não possui uma tradução bem definida para o português, mas em inglês seu significado é: A probabilidade de que uma determinada ação de manutenção ativa, para um item em determinadas condições de utilização, possa ser realizada dentro de um intervalo de tempo indicado, quando a manutenção é executada sob condições estabelecidas e utilizando procedimentos e meios indicados (CENELEC, 1999).

- EN50128, Aplicações ferroviárias: sistemas de comunicação, sinalização e processamento. Software para controle de comboios e sistemas de proteção.

- EN50129 Aplicações ferroviárias - Comunicação, sinalização e sistemas de processamento - Segurança relacionada com sistemas eletrônicos de sinalização.

- **Proposta da “EMPRESA C” para as normas a serem adotadas**

Sugere normas europeias IEC, e questiona se será necessário o uso de normas brasileiras, caso seja, solicita a lista de normas que devem ser seguidas, também. A “EMPRESA C” enfatiza que as normas europeias usadas pela EBA são incontestáveis e obrigatórias.

6.2.3 Métodos para certificação

Os métodos para certificação são estabelecidos pela empresa certificadora e geralmente amparados por norma.

- **Métodos da “EMPRESA A”**

O método adotado é de gerenciamento e contratação de serviços de terceiros. Prevê contatos com entidades como o INMETRO e o Comitê Brasileiro Ferroviário, e reuniões entre os membros da “Empresa A” e a equipe do MagLev-Cobra para definirem o “modelo de certificação do produto”.

A proposta da “Empresa A” prevê o “estudo dos requisitos das normas selecionadas na Etapa 2, identificando os aspectos que devem ser verificados no MagLev-Cobra e o tipo de documento ou estudo associado, que pode envolver: (i) plantas e projetos, (ii) análises de engenharia, (iii) certificados de testes de qualificação, (iv) certificados de testes de aceitação, (v) relatórios de inspeções, (vi) relatórios de demonstrações in loco, (vii) experiência prévia documentada, (viii) análises de perigos, (ix) planos de segurança, operação, manutenção ou treinamento, dentre outros.”

- **Métodos da “EMPRESA B”**

A “Empresa B” segue os métodos propostos nas normas EN50126, EN50128 e EN50129. O principal método utilizado é o V&V, Verificação e Validação. A Figura 6.8 mostra uma concepção do método. Do lado esquerdo na direção descendente estão as fases de desenvolvimento e refinamento, quando chega ao vértice quase sempre culmina em um produto, ou sistema completo. Os “requisitos do sistema” estão relacionados aos itens que compõem o todo, a partir daí é feita a “divisão do sistema” para que todas as partes sejam verificadas. Do lado direito do “V” e no sentido ascendente ocorrem as verificações relacionados com a montagem, a instalação e o funcionamento do conjunto. Cada nível da esquerda está relacionado a um nível da direita, sendo que para todos devem haver validações entre o planejamento (esquerda) e a execução e montagem(direita).

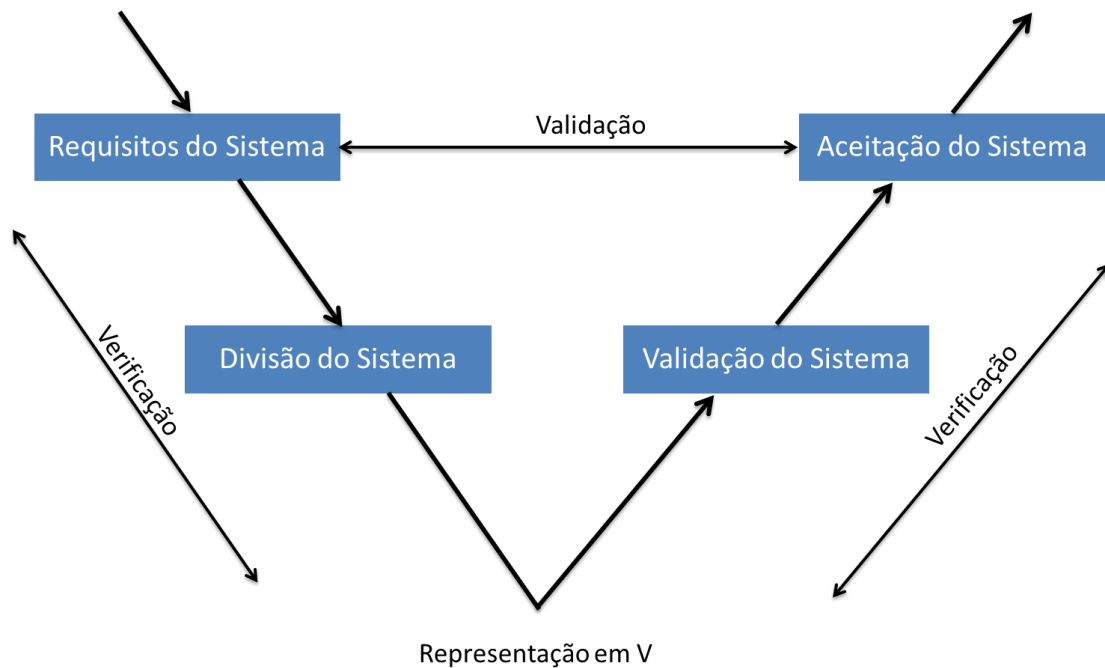



Figura 6.8 – Representação V&V, Verificação e Validação.

- **Métodos da "EMPRESA C"**

A empresa indicou que utilizará os mesmos métodos utilizados na certificação do Transrapid, certificando cada uma dos subsistemas separadamente, mas, não revelou detalhes sobre os métodos.

6.2.4 Itens a serem certificados no MagLev-Cobra

Quaisquer que sejam os métodos utilizados, todas as partes do veículo devem estar em conformidade com as normas de referência. Essa abordagem é comparada, simbolicamente, à eliminação de elos fracos de uma corrente. O MagLev-Cobra possui componentes desenvolvidos especificamente para uso dedicado e, também, componentes de mercado. Quando ocorrer a divisão do sistema para verificação, a validação dos componentes comerciais pode ser baseada em certificações dos produtos apresentadas pelos fabricantes. Mas, os componentes desenvolvidos para o MagLev-Cobra deverão ser auditados individualmente.

6.3 Considerações parciais

Um estudo direcionado às características da propulsão do MagLev-Cobra e sua relação com requisitos de um APM, foram mostradas na Seção 6.1. Esta seção faz, também, menção ao Apêndice B, que detalha as especificações da norma APM, as condições atuais do MagLev-Cobra e propõe adequações aos itens não atendidos até o momento.

A certificação da linha de testes é tratada na Seção 6.2, na qual são comparadas as propostas de três empresas certificadoras. A opção por uma ou por outra, depende de um estudo de viabilidade técnica e econômica, e de levantamento de recursos para este fim.

7 Conclusões e trabalhos futuros

Neste capítulo, são apresentadas as conclusões, as considerações sobre o trabalho desenvolvido e, também, são discutidas propostas para trabalhos futuros.

7.1 Contribuições

A principal contribuição desta tese foi o estudo das diferentes possibilidades de tração do veículo MagLev-Cobra. Para tanto, foi necessário um trabalho prévio de conhecimento e documentação da tecnologia. Como desdobramentos, obteve-se a base necessária para o enquadramento do veículo como um APM.

Podem-se destacar os seguintes resultados:

- Documentação do estado da arte do veículo MagLev-Cobra e de seus componentes únicos em veículos como, por exemplo, o motor linear.

- Avaliação do comportamento do Motor de Indução Linear sob condições de carga e variações de entreferro.

- Análise do comportamento do veículo durante realização de ensaios, especialmente, questões relacionadas às forças atrativas do LIM que auxiliam as forças de levitação.

- Criação de um documento base para os processos de adequação a um APM e certificação da linha de testes.

7.2 Considerações finais

As conclusões detalhadas dos Capítulos 3, 4, 5 e 6 encontram-se nas considerações parciais de cada um. Nos parágrafos seguintes, estão as conclusões gerais desta tese.

Este trabalho traçou um paralelo entre os pesados trens convencionais roda-trilho e os de levitação magnética. Mostrou as vantagens da utilização de trens de levitação magnética quando comparados com outros tipos de transporte e posicionou o MagLev-Cobra, com sua levitação magnética supercondutora, como o primeiro trem com esta técnica de levitação a ser destinado ao transporte urbano.

Os principais componentes, sensores e atuadores do MagLev-Cobra foram detalhados e testados em simulações e ensaios práticos. Os resultados das simulações e ensaios foram satisfatórios do ponto de vista de funcionalidade e apontaram para o aprimoramento das partes que ainda merecem ajustes.

Alguns itens da norma APM ainda não foram atendidos, mas, este trabalho, traz uma lista completa de todos os requisitos da norma, a situação atual e adequações necessárias. Esta lista está presente na Seção 6.1 e no Apêndice B. Sendo assim, este trabalho é o ponto de partida para a adequação à APM e para a Certificação da linha de testes.

Dentre os itens APM que não foram atendidos, apresentam-se com maior dificuldade de execução, os que se referem à criação de equipes independentes (vide Apêndice B). Para a operacionalização do "APM MagLev-Cobra" conta-se com a equipe do LASUP apoiada pela equipe do LabMaq (Laboratório de máquinas elétricas), equipes estas, que restringem-se a um número reduzido de colaboradores. O modelo de divisão de equipes, a hierarquia e a interação entre elas deve ser pensada de forma a atender a norma e suas exigências. A independência entre equipes, principalmente as de implantação e as de auditorias internas, deve ser pensada para otimizar a alocação de pessoas, de tal forma, que a equipe de implementação de uma determinada parte do projeto audite a equipe de outra parte e vice-versa, ou seja, todas serão do tipo multitarefa, mas sem que haja uma "auto auditoria" .

7.3 Trabalhos futuros

As propostas para trabalhos futuros são:

- MagLev-Cobra, o primeiro APM com levitação SML.

- Técnicas de controle e otimização de viagens para o "APM MagLev-Cobra".

- Interligação da operação do MagLev-Cobra com o Centro de Operações do Rio de Janeiro e CET Rio. Dando continuidade a contatos preliminares que apontaram para uma parceria.

- Certificação da tecnologia para aplicação comercial.

Referências bibliográficas

ABNT. **NBR NM 207 - Elevadores Elétricos de Passageiros:** Requisitos de Segurança para Construção e Instalação. São Paulo: ABNT, 1999.

ABNT. **NBR 16074-1 - Sistema Movimentador Automático de Pessoas (Sistema APM) Parte 1:** Terminologia e abreviaturas. Incorpora a Errata 1 de 01.11.2013. ed. São Paulo: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2012.

ADINOLFI, A. et al. Experimental assessment of energy saving due to trains regenerative braking in an electrified subway line. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 13, n. 4, p. 1536-1542, out. 1998.

ASCE. **Automated People Mover Standards**. Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers, 2013a.

ASCE. 14th International Conference on Automated People Movers and Automated Transit Systems. **ASCE**, 21-24 abr. 2013b. Disponivel em: <http://www.apmconference.org/uploadedFiles/apm-2013-program.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2015.

BALLUFF. Sensor de Ultra-som. **Balluff Sensor Worldwide**, 07 abr. 2015. Disponivel em: <http://asset.balluff.com/std.lang.all/pdf/datasheet/a-/pt/Datasheet_BUS0001_178841_BRA-pt.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2015.

BBC NEWS. Japan maglev train breaks world speed record again. **BBC News**, 21 abr. 2015. Disponivel em: <http://www.bbc.com/news/world-asia-32391020>. Acesso em: 15 maio 2015.

BOWER, J. Emile Bachelet - Inventor from Mount Vernon, New York. **Westchester County Historical Society**, p. 39-43, 2010.

CENELEC. **BS EN 50126 - Railway aplications- The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) - Part 1**. Brussels: BSi British Standards, 1999.

CHABU, I. E.; GOMES, D. R. **Relatório Técnico – Motor Linear 900 N / 420 V / 7.8 m/s / 25 Hz**. Equacional Elétrica e Mecânica LTDA. São Paulo, p. 1 - 17. 2009.

CITYTRANSPORT.INFO. Monorails, Maglevs and 'Cabin' Transports - Including PRT. **Citytransport.info**, 23 mar. 2015. Disponivel em: <http://citytransport.info/Monorail.htm>. Acesso em: 15 abr. 2015.

CORRSYS-DATRON. **Manual user - CORREVIT® L-350 Aqua Sensor**. Wetzlar. 2010.

COSTA E SILVA, A. D. **Uma Introdução à Engenharia Ferroviária**. [S.l.]: AgBook, v. 1, 2012. 7-12 p.

CREPPE, R. C. **Uma Contribuição à Modelagem de Máquinas de Indução Lineares**. Campinas: UNICAMP, 1997.

CUMMINGS, M. N. **California-Nevada Interstate Maglev Project (CNIMP)**. The 20th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. San Diego, USA: MagLev 2008. 2008.

DENATRAN. **Departamento Nacional de Transito**, 31 dez. 2014. Disponivel em: <http://www.denatran.gov.br/frota.htm>. Acesso em: 11 fev. 2015.

DICKHART, W. W. Status of Transrapid Maglev. **Electro International**, p. 613-617, 1991.

DUJMOVIĆ, N. **Maglev System Benchmarking by Planning Metropolitan Mass Public Rapid Transit with a View on The City of Zagreb**. The 20th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. San Diego, USA: MagLev 2008. 2008.

FERGUSON, J. **Atlanta - Chattanooga - Nashville High Speed Ground**. The 20th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. San Diego, USA: MagLev 2008. 2008.

FERREIRA, L. O. S. **Modelo dos Trens da Linha Norte-Sul do Metrô de São Paulo**. São paulo: UNICAMP, 1982.

FRITZ, E.; MNICH, P. **Maglev System on the Island of Tenerife**. The 21st International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. Daejeon, Korea: MagLev 2011. 2011.

FRITZ, E.; MNICH, P. **Planning and design study of a high-speed Maglev railway connecting airport and seaport infrastructure in Tenerife**. The 22th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. Rio de Janeiro, Brasil: MagLev 2014. 2014.

GIERAS, J. F. **Linear Induction Drives**. Oxford: Oxford Science Publications, 1994.

GREEN, A. M. The Effect of Low Temperature Cryocoolers on the Development of Low Temperature Superconducting Magnets. **IEEE Transactions on Applied Superconductivity**, v. 11, n. 1, p. 2615-2618, mar. 2001.

HSU, Y.-H. et al. Magnetic Levitation Upgrade to the Holloman High Speed Test Track. **IEEE Transactions on Applied Superconductivity**, v. 19, p. 2074-2077, 2009.

JOHNSON, S. The Path to Innovation: History of AMT-An Abridged History of American MagLev Technology, Inc., Florida, 2013. Disponivel em: <http://american-MagLev.com>. Acesso em: 10 dez. 2013.

KÖNIG, N. H.; PORATH, F. E. **SwissRapide Express, A Maglev High-Speed Line for Switzerland**. The 19th International Conference on Magnetically Levitated Systems

and Linear Drives. Dresden, Germany: MagLev 2006. 2006.

KRUSE, J.; JAMES, A. **Transrapid in Great Britain – Project UK Ultraspeed**. The 19th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. Dresden, Germany: MagLev 2006. 2006.

LAITHWAITE, E. R. Linear electric machines—A personal view. **Proceedings of the IEEE**, v. 63, n. 2, p. 250-290, fev. 1975.

LANZARA, G.; D'OVIDIO, G. **UAQ4 Superconducting Maglev Train:** the Italian Project. The 22th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. Rio de Janeiro, Brasil: MagLev 2014. 2014.

LASUP. Laboratório de Aplicações de Supercondutores. **LASUP**, 01 jan. 2015. Disponivel em: <http://www.dee.ufrj.br/lasup/index.html>. Acesso em: 22 abr. 2015.

LEA+ELLIOT. **Guidebook for Planning and Implementing Automated People Mover Systems at Airports**. Washington,USA. 2010.

LEONHARD, W.; RHODES, R. G.; RAKELS, J. H. Technical alternatives for a maglev system. **Electronics and Power**, v. 24, p. 293-296, abr. 1978.

LOAIZA, A. E. L. **Operação Sincronizada de Motores Lineares de Tração para um Veículo de Levitação**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010. Dissertação de mestrado.

LOBENSTEIN, R. W. The power to move a city: electrification of the New York city subway system. **IEEE Power and Energy Magazine**, v. 2, p. 80-81, jul. 2004.

LÓPEZ, I. M.; SILVA, G.; RUIZ, A. **Calibration of Non Contact Velocity Sensor Used in Automotive Industry**. IMEKO 22nd TC3, 12th TC5 and 3rd TC22 International Conferences. Cape Town, Republic of South Africa: IMEKO. 2014.

LOURENÇO, A. J. **Proposta de Um Sistema APM - Automated People Mover - Para o Lado Terra dos Terminais de Passageiros do AISP/G - Aeroporto Internacional de São Paulo / Guarulhos**. São José dos Campos, SP: Instituto Tecnológico da Aeronáutica - ITA, 2003.

LUGUANG, Y. Progress of the Maglev Transportation in China. **IEEE Transactions on Applied Superconductivity**, v. 16, n. 2, p. 1138-1141, jun. 2006.

LUGUANG, Y. **The maglev development and commercial application in China**. International Conference on Electrical Machines and Systems. Seoul, Korea: ICEMS. 2007. p. 1942-1949.

MILLER, L. M.; BURLESON, D. P.; KAPALA, J. **Atlanta CONRAC Automated People Mover:** Potential Industry Trends or Just Local Preferences? 10th International Conference on Automated People Movers by American Society of Civil Engineers. Orlando, Florida: ASCE. 2005.

MOTTA, E. S. **Otimização de Trilho Magnético de Um Sistema de Levitação Supercondutora para Veículo MagLev**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio

de Janeiro, 2011. Tese de doutorado.

NASA. Nasa. **National Aeronautics and Space Administration**, 3 fev. 2014. Disponivel em: <http://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/engineering/technology/txt_accordion1.html#.VVgG7PlVhBc>. Acesso em: 02 maio 2015.

NEUMANN, B. **Utilisation of the Transrapid in Europe**. The 19th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. Dresden, Germany: MagLev 2006. 2006.

ONO, M.; KOGA, S.; OHTSUKI, H. Japan's superconducting Maglev train. **IEEE Instrumentation & Measurement Magazine**, v. 5, p. 9-15, mar. 2002.

POWELL, J. R. et al. **The Maglev America Project:** A 28,800 mile National Maglev Network for the United States. The 21st International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. Daejeon, Korea: MagLev 2011. 2011.

RETZMANN, M. et al. **The Moscow – Warsaw – Berlin Project:** A High-Speed Maglev for long distance transport. The 21st International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. Daejeon, Korea: MagLev 2011. 2011.

ROSE, C. R.; PETERSON, D. E.; LEUNG, E. M. **Implementation of Cargo MagLev in the United States**. The 20th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. San Diego, USA: MagLev 2008. 2008.

SAWADA, K. Development of magnetically levitated high speed transport system in Japan. **IEEE Transactions on Magnetics**, v. 32, n. 4, p. 2230-2235, jul. 1996.

SCHERER, M.; WICHSER, J.; VENCKAUSKAITÈ, J. Alternatives to Automated People-Mover Systems for Small but Dense Populated Areas. **Baltic Journal on Sustainability**, v. 15, p. 90-101, 2009. ISSN ISSN 1392-8619.

SHIN, B. C. et al. **Korea’s First Urban Maglev System**. The 22th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. Rio de Janeiro, Brasil: MagLev 2014. 2014.

SOTELO, G. G. **Proposta de um Mancal Magnético Supercondutor com Fita de YBCO de Segunda Geração**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2004. Monografia de graduação em engenharia elétrica.

SOTELO, G. G. et al. Tests on a Superconductor Linear Magnetic Bearing of a Full-Scale MagLev Vehicle. **IEEE Transactions on Applied Superconductivity**, v. 21, n. 3, p. 1464-1468, jun. 2011.

STEPHAN, R. et al. **A Full-Scale Module of the Maglev-Cobra HTS-Superconducting Vehicle**. The 20th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. San Diego,USA: MagLev 2008. 2008.

STEPHAN, R. M. MagLev-Cobra: Tecnologia de Levitação Magnética no Brasil. **Revista Ciência Hoje**, v. 55, n. 325, p. 20-25, maio 2015.

STEPHAN, R. M. et al. Um Protótipo Brasileiro de Trem de Levitação Magnética. **Revista Eletrônica de Potência**, v. 8, p. 1-8, 2003.

STEPHAN, R. M. et al. **The First Full Scale Functional Prototype of the Superconducting Magnetically Levitated Vehicle MagLev-Cobra**. The 21st International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. Daejeon, Korea: MagLev 2011. 2011.

TAKAHASHI, K. **A preliminary study of vehicle dynamics in a long train set formation for superconducting Maglev System**. International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion. Ischia,Itália: SPEEDAM. 2008. p. 1013-1016.

THIEL, B. V. **21 Minutes Flying on the Ground – Qatar – Bahrain MagLev-Link**. The 20th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. San Diego, USA: MagLev 2008. 2008.

THOMPSON, M.; VENTER, M. S. Florida Department of Transportation, 2013. Disponivel em: <http://www.metroplanorlando.com/files/view/maglev-technology-assessment-by-fdot-june-2013.pdf>. Acesso em: 13 fev. 2015.

THORNTON, R. D. Magnetic levitation and propulsion, 1975. **IEEE Transactions on Magnetics**, v. 11, n. 4, p. 981-995, jul. 1975.

THORNTON, R. D. Efficient and Affordable Maglev Opportunities in the United States. **Proceedings of the IEEE**, v. 97, n. 11, p. 1901-1921, nov. 2009.

TUM, M.; HUHN, G.; HARBEKE, C. **Design and Development of the Transrapid TR09**. The 19th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. Dresden, Germany.: MagLev 2006. 2006.

UNITED NATIONS. World’s population increasingly urban with more than half living in urban areas. **UN**, 10 jul. 2014. Disponivel em: <http://www.un.org/en/development/desa/news/population/world-urbanization-prospects-2014.html>. Acesso em: 2 maio 2015.

WEG. Motores de indução alimentados por inversores de frequência PWM. **WEG - Guia Técnico**, maio 2010. Disponivel em: <http://www.weg.net/br/Media-Center/Central-de-Downloads/Resultado-da-Busca?keyword=Motores+de+indu%C3%A7%C3%A3o+alimentados+por+inversores+de+frequ%C3%AAncia+PWM&x=44&y=11>. Acesso em: 02 maio 2015.

WEG. Inversor de Freqüência CFW-11: Manual do Usuário. **WEG**, mar. 2013a. Disponivel em: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cfw-11-manual-do-usuario-mec.-a-a-d-10000062964-manual-portugues-br.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2015.

WEG. Inversor de Frequência CFW-11: Manual de programação. **WEG**, maio 2013b. Disponivel em: <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-cfw-11-manual-de-programacao-0899.5664-3.1x-manual-portugues-br.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2015.

WERFEL, F. N. et al. Recent Up-Scaling in HTS Magnetic Device Technology. **IEEE Transactions On Applied Superconductivity**, v. 21, n. 3, p. 1473-1476, jun. 2011.

YONG, J. S. et al. **Service Availability of the Urban Maglev System in Korea**. The 20th International Conference on Magnetically Levitated Systems and Linear Drives. San Diego, USA: MagLev 2008. 2008.

ZHENG, J. et al. Stability of the Maglev Vehicle Model Using Bulk High Tc Superconductors at Low Speed. **IEEE Transaction on Apllied Superconductivity**, v. 17, n. 2, p. 2103-2106, jun. 2007.

Apêndice A Detalhamento do bloco inversor motor

O bloco inversor motor é baseado nos dados de ensaios fornecidos pelo fabricante do motor. A Figura A.1 mostra os componentes internos do bloco inversor motor. Os blocos “Determinação do gap do criostato”, “Determinação entreferro do motor linear” e “Determinação do ganho de força”, são a reprodução das s contidas em (LOAIZA, 2010) e são mostrados na Figura A.2.

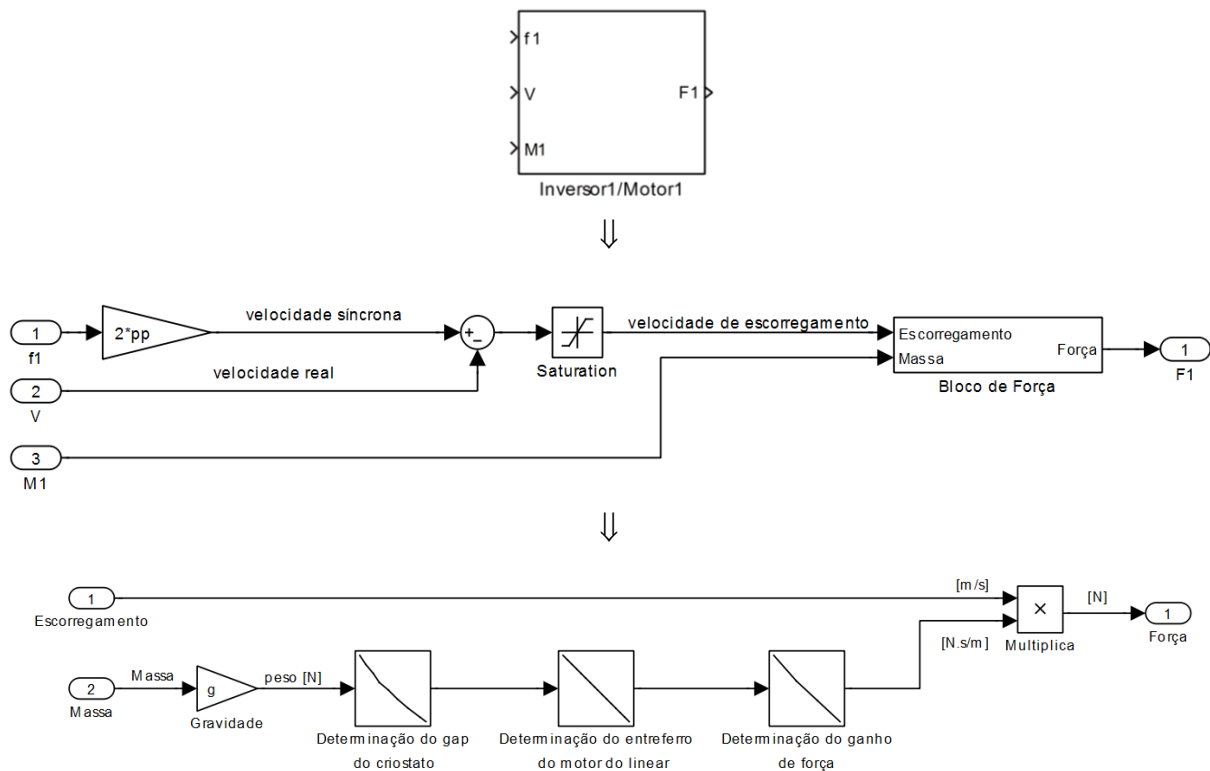



Figura A.1 – Detalhamento do Bloco inversor motor.

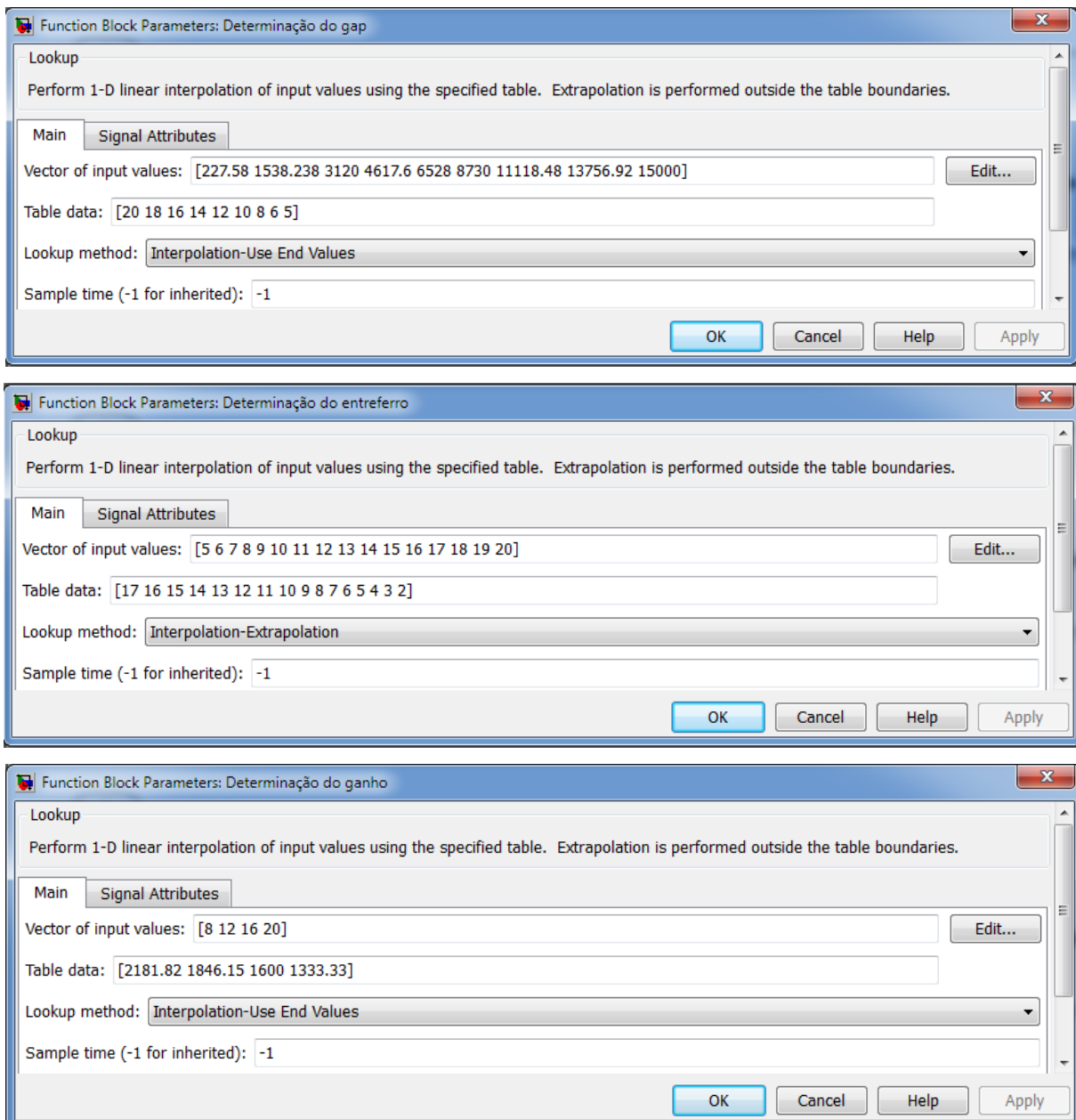



Figura A.2 – Determinação de parâmetros do bloco Inversor/Motor.

Apêndice B Adequação à Norma APM

A Tabela B.1 mostra um resumo da norma APM (ASCE, 2013a), a forma como cada item é abordado no MagLev-Cobra e as adequações necessárias para torna-lo um APM. Esta norma é a sintetização das quatro normas anteriores de 2005 e 2008, parte 1 ASCE 21-2005 e partes 2, 3 e 4 ASCE 21-2008.

Tabela B.1 – Detalhamento e adequação à norma APM.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
1 GERAL	Normas *APM*	Não se aplica.	Não se aplica.
1.1 Escopo	Descrição geral sobre o conjunto de quatro normas APM.	Não se aplica.	Não se aplica.
1.2 Aplicações Existentes	Aplicações anteriores à norma não necessitam adequar-se. Instalações totalmente realocadas devem ser tratadas como novas.	O MagLev-Cobra é uma instalação nova.	Não se aplica.
1.3 Aplicações Novas	As novas instalações devem obedecer à norma vigente .	O MagLev-Cobra é uma instalação. nova	Deve obedecer a norma vigente.
1.4 Normas de Referência	Normas as quais se baseiam as normas APM.	Não se aplica.	Não se aplica.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
1.5 Definições	Definições de termos técnicos e siglas adotadas no texto da norma.	Termos em inglês que podem ser usados para definir partes, sistemas ou conceitos e ajudam a universalizar a contextualização do veículo no senário internacional.	Citação de termos em inglês como forma de inserção mundial do MagLev-Cobra.
2 AMBIENTE OPERACIONAL	Nesta seção são feitas duas abordagens. Uma do ambiente existente em que o veículo é inserido e outra do ambiente afetado pela sua inserção.	Preocupação com o meio ambiente, diminuição de impactos ambientais, integração do veículo com seu entorno, melhoramento de aspectos de mobilidade urbana, etc.	Planejamento desde a fase de projeto e aprimoramentos constantes durante revisões de projeto e implantação, e ainda, certificação do veículo.
2.1 Condições Ambientais	Dados meteorológicos locais apropriados devem ser utilizados para determinar as condições ambientais projeto.	Considerar as condições climáticas locais para dados de projetos.	Condições devem ser consultadas junto a algum centro meteorológico local.
2.1.1 Temperatura e umidade	A temperatura de projeto deve considerar os valores máximo e mínimo dos últimos 50 anos.	Inicialmente o MagLev-Cobra não irá operar sob chuva. O projeto obedece normas brasileiras de construção.	Verificar se o projeto atende às condições de temperatura e climáticas dos últimos 50 anos.
2.1.2 Vento	Estabelecimento de condições máximas de vento para cada condição de operação: 1- Operação Normal do sistema; 2- Operação manual; 3- Operação de emergência.	A projetista deve determinar o vento máximo para cada condição de operação, com a finalidade de promover uma operação segura do veículo.	As condições de operação sob vento devem ser definidas. Deve haver a interligação do veículo com um centro de monitoramento climático ou a um sensor de vento (anemômetro).

Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
2.1.3 Precipitações	Se o sistema é destinado para a operação, enquanto submetido à precipitação, queda de neve e formação de gelo, deve ser projetado para operação a taxas consistentes com os dados históricos.	O MagLeve irá operar apenas com clima seco devido a classe de isolamento do motor linear, no caso IP 00.	Deve-se interligar o veículo com um centro de monitoramento climático ou a um sensor de precipitação para tirar o veículo de operação quando da ocorrência de chuva.
2.1.4 Descargas atmosféricas	Proteção contra descargas atmosféricas. É sugerida a utilização da norma americana UL96A, 11th edition, 2001.	A norma em vigor no Brasil é a NBR 5419- Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas. Esta norma foi utilizada para as definições de projeto de SPDA (Sistema de Proteção de Descargas Atmosféricas).	Conferir projeto e execução do SPDA.
2.1.5 Poluição Atmosférica existente	O projeto deve tolerar poluentes atmosféricos existentes no local.	O MagLev-Cobra possui uma particularidade que é o trilho de imãs, que pode atrair partículas de materiais magnéticos. Um cuidado adicional deve ser tomado contra a adesão de partículas no trilho de imãs.	Projetar e testar técnicas, materiais e equipamentos para eliminar a possibilidade de aderência de materiais magnéticos aos trilhos.
2.1.6 Carga térmica solar	O projeto deve suportar o pico de radiação solar direta. Seus materiais devem suportar os efeitos destrutivos da radiação ultravioleta.	O veículo é construído em fibra de vidro, a via elevada possui estrutura de aço tubular fornecida pela V&M do Brasil. A pintura é de alta qualidade fornecida pela AkzoNobel.	Verificar a certificação de cada um dos materiais utilizados quanto a exposição solar.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
2.1.7 Zonas de inundação	O nível de inundação deve basear-se nos valores dos últimos 100 anos. Os sistemas devem ser capazes suportar à uma inundação com o mínimo de danos. Os elementos que podem ser danificados por inundações devem ser protegidos ou instalados acima da planície inundada.	O veículo e equipamentos serão instalados em via elevada em uma ilha marítima. Não há registro de inundação a este nível. A subestação de energia encontra-se no subsolo do Bloco I.	O veículo não corre risco de inundação nas condições atmosféricas atuais do planeta. Mas a subestação alimentadora está no subsolo do Bloco I. Deve ser investigada a possibilidade de inundação e as medidas a serem tomadas.
2.1.8 Interferência eletromagnética	O Sistema e todos os seus componentes devem possuir compatibilidade eletromagnética com o meio a sua volta.	O veículo está equipado com diversos dispositivos eletrônicos certificados pelos fabricantes.	(Detalhado na Seção 6.1.1 da tese)
2.2 Parâmetros ambientais induzidos	O sistema deve ser operado, armazenado e mantido dentro das condições e limites estabelecidos.	O veículo não deve ultrapassar os limites estabelecidos na norma.	O veículo não deve ultrapassar os limites estabelecidos na norma.
2.2.1 Ruído externo transportado pelo ar	Os níveis de ruído não devem exceder as condições definidas (Norma ANSI padrão SI.4-1983).	Conceitualmente o MagLev-Cobra é um veículo com baixa emissão de ruído. Pois não há atrito roda-trilho, não há motor de combustão e o motor linear fica desligado nas estações.	Para adequação do veículo à norma ANSI de ruídos medições devem ser feitas na linha experimental. Inicialmente o veículo se mostra promissor quanto à baixa emissão de poluição sonora.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
2.2.2 Vibração e ruído transportados pela estrutura	A vibração induzida pelo sistema deve ser imperceptível em edifícios próximos.	Conceitualmente o MagLev-Cobra é um veículo com baixa emissão de vibração. Pois não há atrito roda-trilho, não há motor de combustão e o motor linear fica desligado nas estações.	Para adequação do veículo à norma ANSI de vibrações medições devem ser feitas na linha experimental. Inicialmente o veículo se mostra promissor quanto à baixa emissão de vibração em estruturas próximas.
2.2.3 Radiação Eletromagnética	O sistema deve ter compatibilidade eletromagnética com o ambiente. Não deve interferir em dispositivos ou equipamentos ao seu redor.	Uma fonte de radiação magnética do veículo é o trilho de imãs. Outra é o motor linear.	(Detalhado na Seção 6.1.2 da tese)
3 REQUISITOS DE SEGURANÇA	Requisitos de segurança devem ser considerados durante o projeto, construção e operação.	Requisitos de segurança devem ser considerados durante o projeto, construção e operação.	Requisitos de segurança devem ser considerados durante o projeto, construção e operação.
3.1 Programa de Segurança do sistema	Este programa deve ser implementado para identificar e prevenir riscos. Deve ser desenvolvido um "Plano de Programa de Segurança do Sistema" que deve identificar as responsabilidades de todas as partes para implementação do "Programa de Segurança do Sistema".	Comissão de segurança e programa ainda não definidos.	Este item será contemplado durante o processo de certificação da tecnologia ou de certificação da linha de testes.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
3.1.1 Plano de Programa de Segurança do Sistema	Um Plano de Programa de Segurança do Sistema (SSPP- *System Safety Program Plan*) deve ser desenvolvido durante a fase de planejamento do projeto APM e mantido atual ao longo do ciclo de vida do sistema APM.	Comissão de segurança e programa ainda não definidos.	Este item será contemplado durante o processo de certificação da tecnologia ou de certificação da linha de testes.
3.1.2 Processo de Redução de Risco	O processo de redução do risco deve ser iniciado através da definição das características físicas e funcionais do sistema APM a ser analisado.	Comissão de segurança e programa ainda não definidos.	Este item será contemplado durante o processo de certificação da tecnologia ou de certificação da linha de testes.
3.2 Princípios de Segurança	Princípios de segurança devem ser observados no sistema APM e são definidos na norma.	Comissão de segurança e programa ainda não definidos.	Este item será contemplado durante o processo de certificação da tecnologia ou de certificação da linha de testes.
3.3 Projeto de Sistema Automático de Controle de Trens *fail-safe*	Todos os elementos críticos de segurança do controle do sistema automático de trens (ATC - *Automatic Train Control*) devem ser concebidos e implementados de acordo com os princípios à prova de falhas e deve utilizar uma ou mais das técnicas previstas na norma.	Sistema de monitoramento em uma central remota com comandos de operação embarcados.	Implementar o sistema ATC considerando todas as questões de segurança previstas na norma APM.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
3.3.1 Projeto intrinsecamente a prova de falhas	Sistemas intrinsecamente à prova de falhas devem ser projetados usando variáveis físicas, mecânicas e/ou características de componentes elétricos.	O Conversor CFW-11 é um equipamento robusto de mercado. E nele estão concentradas ações redundantes de segurança. A parte de monitoramento e controle a distância não se sobrepõe em hipótese alguma aos procedimentos de segurança programados no CFW-11.	Todos os projetos contendo hardwares e softwares devem prever redundâncias. Estas redundâncias serão verificadas e aprovadas pelos auditores do processo de certificação.
3.3.2 Alternativas ao Projeto intrinsecamente a prova de falhas	Projetos que não apresentem características intrínsecas a prova de falha devem utilizar uma ou mais das seguintes técnicas: 3.3.2.1 Verificação de Redundância; 3.3.2.2 Programas paralelos operando simultaneamente; 3.3.2.3 Diversidade e autocontrole; 3.3.2.4 Garantia numérica.	Estes procedimentos de projeto deverão ser adotados durante toda a programação dos dispositivos.	Todos os projetos contendo hardwares e softwares devem prever redundâncias. Estas redundâncias serão verificadas e aprovadas pelos auditores do processo de certificação.
3.4 Verificação e Validação	A concepção e implementação de toda a segurança hardware crítica e elementos do sistema, identificados no processo de redução de riscos do software será submetido a verificação e validação.	Deve-se criar um *checklist* para testar os dispositivos de segurança.	A aprovação do *checklist* e a verificação do mesmo devem ser abordadas durante o processo de certificação.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
4 CONFIABILIDADE DO SISTEMA	Confiabilidade do sistema é o conjunto global de critérios utilizados para medir o desempenho de um sistema operacional em termos de manutenção de confiabilidade e disponibilidade.	Devem ser analisadas a confiabilidade do sistema segundo os critérios a seguir:	Durante o processo de certificação devem ser feitas as adequações a seguir:
4.1 Confiabilidade do serviço	Confiabilidade do serviço é definida como o tempo médio entre falhas do sistema ou subconjunto do sistema ($MTBF_S$ – *Mean Time Between System Failures*).	A determinação do fator que define a confiabilidade do MagLev só será obtido durante os testes. Para tal deverá ser criado um mecanismo para registrar as falhas. As falhas do inversor CFW-11 já são registradas automaticamente.	O sistema deverá registrar automaticamente as falhas de todos os dispositivos.
4.1.1 Interrupções de serviço	Interrupções de serviço são aqueles eventos ou falhas que impedem o uso por passageiros do sistema.	Deverá ser criado um mecanismo para registrar as interrupções e criar um banco de dados elencando os motivos das interrupções mais frequentes.	Criar um mecanismo para registrar as interrupções e criar um banco de dados elencando os motivos das interrupções mais frequentes.
4.1.2 Exceções	Algumas das paradas de funcionamento não devem ser consideradas interrupções quando ocorrerem em circunstâncias previstas como exceções.	Deverá ser criado um mecanismo para registrar as interrupções. Neste mecanismo deverá ser possível alterar de interrupções para exceções.	Criar um mecanismo para registrar as interrupções. Neste mecanismo deverá ser possível alterar de interrupções para exceções.
4.2 Manutenção do Serviço	Manutenção de serviço é definida como o Tempo Médio para Restaurar o Serviço ($MTTR_S$-*Mean Time to Restore Service*) após uma interrupção de serviço do sistema.	A determinação do fator que define a manutenção do serviço só será obtida durante os testes. Para tal deverá ser criado um mecanismo para registrar as os tempos e as falhas.	Criar um mecanismo para registrar as os tempos e as falhas.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
4.3 Disponibilidade do Serviço	A disponibilidade do serviço (A_S- *Availability Service*) é definida por: $A_S = MTBF_S / (MTBF_S + MTTR_S)$	A determinação do fator que define a disponibilidade do serviço só será obtida durante os testes. Para tal deverá ser criado um mecanismo para registrar as os tempos e as falhas.	Criar um mecanismo para registrar as os tempos e as falhas.
5 CONTROLE AUTOMÁTICO DO TREM (ATC – *AUTOMATIC TRAIN CONTROL*)	O sistema de controle automático do trem é dividido em subsistemas, a saber: - Proteção Automática do Trem (*Automatic Train Protection* - ATP), -Operação Automática do Trem (*Automatic Train Operation* - ATO) - Supervisão Automática do Trem (*Automatic Train Supervision* - ATS).	O veículo deve atender aos requisitos de controle automático.	(Detalhado na Seção 6.1.3 da tese)
5.1 Funções automáticas para a proteção do trem	Funções automáticas para a proteção do trem.	Devem ser elaboradas.	(Detalhado na Seção 6.1.3 da tese)
5.1.1 Detecção de Presença	Sistema de detecção que identifique se há outros comboios ou veículos de serviço operando na linha.	O linha de testes contará com apenas um comboio (4 módulos interligados), a detecção de presença se aplica apenas a corpos estranhos na linha. A central de controle contará com sistema de TV que monitora o trem e a via.	Instalar e testar os sistemas de TV.
5.1.2 Garantia de Separação	Garantia de separação para evitar colisão entre trens.	O linha de testes contará com apenas um comboio (4 módulos interligados), a separação mínima não se aplica a este caso.	Nada a fazer.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
5.1.3 Detecção de movimento não intencional	A detecção de movimento não intencional deve ser uma função de ATP requerido para todos os sistemas de APM.	Os sistemas devem possuir intertravamentos capazes de detectar movimentos não intencionais.	Este item deve ser implementado nos programas de usuário e será avaliado durante a certificação.
5.1.4.Proteção contra sobrevelocidade	Proteção de excesso de velocidade deve ser uma função ATP necessário para todos os sistemas de APM.	A sobrevelocidade é determinada por parâmetros do sistema. O inversor CFW-11 possui parâmetros para limitar a velocidade.	Determinar e testar qual a velocidade segura de operação do veículo. Que não deve ser superior a 7,8m/s, que é a velocidade nominal do motor.
5.1.5 Proteção de fim de curso	Deve haver dispositivos que limitem o curso de movimentação do trem com a finalidade de evitar colisões com o fim da plataforma.	Além de fins de curso mecânicos redundantes, o sensor de posição Correvit Aqua L-350 serve para determinar o fim de curso.	Programar os fins de curso e o sensor de posição para detectar possíveis falhas de posicionamento.
5.1.6 Proteção de coesão das partes	Quando os veículos são acoplados para formar um comboio ou mesmo quando estão permanentemente acoplados, devem ser providos de dispositivos que detectem qualquer tipo de desacoplamento.	Ainda não foram previstos tais dispositivos.	(Detalhado na Seção 6.1.4 da tese)
5.1.7 Perda de sinal de proteção	Para todos os sistemas APM, todos os sinais que são críticos para as funções de ATP devem ser contínuas ou ser de uma natureza tal que a interrupção do sinal repetitivo seja detectada.	O monitoramento dos sinais de proteção devera ser implementado na programação dos dispositivos.	Implementar detecção de perda de sinais de proteção.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
5.1.8 Detecção de Velocidade Zero	Em sistemas APM em que é necessária a detecção de velocidade zero para parar os trens, este requisito deve ser uma função de ATP.	A velocidade zero deve ser detectada para o acionamento da ancoragem do veículo. Esta ancoragem é feita com o freio mecânico. A detecção é feita pelo sensor Correvit Aqua L-350.	Testar a detecção de velocidade zero.
5.1.9 Proteção contra abertura de porta não programada	Proteção contra abertura de porta não programada deve ser uma função do ATP.	O sistema é dotado de dispositivos fins de curso detectores de abertura de porta para atender a necessidade de parada por abertura não programada. A trava de porta ainda não foi implementada.	Dotar as portas de dispositivos de travamento e realizar testes.
5.1.10 Travas de proteção de controle de portas	Travas de proteção de controle de portas devem ser fornecidas pelo ATP em todos os sistemas de APM.	O bloqueio é feito por redução de engrenagens. Uma solução definitiva ainda é objeto de estudo.	Colocar uma trava ao final do curso da porta.
5.1.11 Bloqueios de partida	Travas de partida deverão estar em todos os ATP's dos sistemas de APM.	O bloqueio de partida deve ser previsto na programação do acionamento. Ainda não implementado.	Prever bloqueio de partida na programação do acionamento.
5.1.12 Bloqueio de reversão de sentido	O bloqueio de reversão deve ser fornecido pelo ATP em todos os sistemas APM.	O inversor CFW 11 tem a opção de passar pelas rampas de desaceleração e aceleração na inversão de sentido. Um dos parâmetros do inversor guarda um bit com a informação binária do sentido de "giro" (no caso do MagLev, sentido de movimentação).	Utilizar o bit de sentido de giro nos circuitos de proteção contra reversão indesejada.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
5.1.13 Bloqueios de propulsão e frenagem	Bloqueios de propulsão e frenagem serão assegurados pelo ATP em todos os sistemas de APM. Parada de emergência deve ser "irrevogável", isto é, uma vez que é iniciada, ela permanecerá ativada até que o trem chegue a uma parada completa.	Os botões de emergência do console de comando atuam diretamente nos inversores para garantirem a irrevogabilidade da parada de emergência. A recolocação em funcionamento também deve obedecer a prescrições da norma.	Testar todas as condições possíveis de irrevogabilidade da parada de emergência.
5.1.14 Trava da mudança de via	Para sistemas que possuem mudanças de via (desvios), estas devem estar alinhadas e travadas para que o veículo tenha permissão de passagem.	Não se aplica à linha de testes. Pois a mesma não possui desvios.	Não se aplica à linha de testes. Pois a mesma não possui desvios.
5.2 Funções da operação automática do trem (ATO – *Automatic Train Operation*)	O ATO deve funcionar para operar automaticamente trens sobre o sistema de acordo com critérios operacionais prescritas, mas dentro das restrições de segurança impostas pela ATP.	-	-
5.2.1 Controle de Movimento	Partida, parada e controle a velocidade, deverão ser determinados pelo ATO de modo que as taxas de aceleração e desaceleração fiquem dentro dos limites aceitáveis de conforto dos passageiros e a velocidade seja mantida abaixo dos limites de impostos pela ATP.	O inversor de frequência é programado para não ultrapassar os limites máximos.	Este item será atendido através da programação do inversor. Definir níveis de aceleração e frenagens de acordo com esta norma. Ver item 7.7.3 da norma APM.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
5.2.2 Parada programada na estação	Paradas programadas nas estações devem ser feitas dentro dos limites aceitáveis de conforto dos passageiros.	Os limites de aceleração e frenagem serão definidos no item 7.7.3. As estações são desprovidas de portas, portanto não há alinhamento das portas do veículo com as portas da estação.	Os limites de aceleração e frenagem serão definidos no item 7.7.3 da norma APM. Testar os sistemas de posicionamento nas estações e de abertura de portas
5.2.3 Controle de porta e tempo de espera	As portas do trem e da estação devem abrir e fechar juntas. Se após um comando de fechamento ou abertura for dado e a porta demorar mais que 10s para obedecer, um alarme deve ser dado para a central de controle.	As estações são desprovidas de portas, portanto não há alinhamento de portas. Os 10 segundos de espera em resposta ao comando de abertura e fechamento devem ser implementados na programação. Deve haver um sistema de supervisão para monitorar o funcionamento.	Implementação de um sistema supervisório ATS(*Automatic Train Supervision*). O sistema deve prever um alarme quando o tempo de 10 segundos relativos a abertura e fechamento de porta for ultrapassado.
5.3 Funções da supervisão automática do trem	A supervisão automática do trem (ATS - *Automatic Train Supervision*) deve monitorar e gerenciar o funcionamento global do sistema.	O sistema supervisório contará com um computador remoto na sala de controle localizada nos LESFER e uma IHM no Veículo.	(Detalhado na Seção 6.1.5 da tese)
5.3.1 Restrições à supervisão automática do trem	Se a ATS tornar-se inoperante a ATP e a ATO deverão manter-se acessíveis a menos que um desligamento do sistema seja comandado pelo operador da central de controle.	A perda de informação do sistema supervisório deve resultar em medidas previstas em norma. Como a parada de emergência total ou o desligamento total da propulsão.	Atender as prescrições da norma durante a programação dos dispositivos.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
5.3.2 Monitoramento de status e desempenho	O status e o monitoramento de desempenho devem ser mostrados em monitores separados funcionalmente na central de controle. Cuidados pontuais devem considerar: 5.3.2.1 Exibição das operações do sistema; 5.3.2.2 Visualização do esquema de potência.	Para atender a norma é necessário separar fisicamente a supervisão do controle.	Instalação de monitores independentes ou instalação de computadores independentes para a supervisão e para a propulsão e controle.
5.3.3 Controle de desempenho e sobreposição	Gestão e operação do sistema devem ser realizados pelas funções de substituição e controle.	A sobreposição de comandos deve ser contemplada durante a programação. Deve ser permitido ao operador da central de comando, executar uma série de procedimentos.	Prover todas as exigências da norma e gravar todos os procedimentos com data e hora, como uma “caixa preta”.
5.4 Limitações da operação manual	Estas normas APM são destinadas ao funcionamento totalmente automático e não se aplicam a operação manual. Modo de operação manual pode ser usado para testes, recuperação, manutenção e sistema de gerenciamento de risco/falha, ou outras condições anormais.	Será prevista a operação manual em condições de teste e condições excepcionais.	Prever a operação manual em condições de teste e condições excepcionais.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
6 COMUNICAÇÃO AUDIOVISUAL	Todo o equipamento audiovisual e de comunicações devem operar de forma independente da parte de propulsão e deverá funcionar plenamente de acordo com as condições ambientais a que possa estar exposto.	O sistema audiovisual deve ser independente da propulsão. Dentro do trem somente a IHM faz a apresentação de status de alguns dispositivos, mas não se trata de informações ao usuário.	Qualquer informação/orientação ao usuário de ser implementada totalmente independente da IHM. Estes avisos podem ser do tipo adesivo.
6.1 Comunicações de áudio	Instalações e equipamentos devem ser fornecidos para permitir a comunicação de voz entre o operador central de controle e passageiros e operador e o pessoal de manutenção localizados em todo o sistema.	Não está previsto tal sistema.	Instalar sistemas de sinais sonoros nas estações e no trem. Instalar fontes de comunicação de emergência para usuários (tipo Metrô). O pessoal de campo deve possuir, no mínimo, rádios comunicadores.
6.1.1 Comunicação nas estações	Um sistema de comunicação pública na estação deve permitir anúncios ao vivo, feitos da central de controle, a todas as áreas públicas de todas as plataformas da estação. Mensagens ao vivo, prevalecem às mensagens pré-gravadas.	Não está previsto tal sistema.	Instalar sistemas de comunicação nas estações.
6.1.2 Comunicação de emergência nas estações e na via	Sistema de comunicação bidirecional entre a central de controle e as estações e vias.	Não está previsto tal sistema.	Instalar sistemas de comunicação bidirecionais nos locais exigidos pela norma.
6.1.3 Comunicação de voz e de chamadas no trem	Sistema de comunicação da central de controle para o trem.	Não está previsto tal sistema.	Instalar sistemas de comunicação sonoro no trem.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
6.1.4 Operação e Manutenção da Comunicação Pessoal	O Sistema APM inclui um sistema interno de telefone/interfone ligando a central de controle, todos os escritórios administrativos e áreas de manutenção e armazenamento.	No MagLev este sistema deverá ser feito via rádio comunicador.	Todos os colaboradores da manutenção e o operador da central de controle devem possuir rádios comunicadores.
6.1.5 Gravação das transmissões de áudio	Um dispositivo de gravação de áudio deve ser fornecido para registrar todas as comunicações.	Não está previsto tal sistema.	Instalar dispositivos para gravar todas as comunicações.
6.1.6 Inteligibilidade das Comunicações de Áudio	As comunicações devem obedecer a padrões para que possam ser bem entendidas.	Não está previsto tal sistema.	Atender às normas de inteligibilidade das comunicações de áudio.
6.2 Câmeras de segurança	O circuito fechado de televisão (CCTV- *closed-circuit television*) deve permitir ao operador do centro de comando visualizar todas as plataformas abertas, sem portas. As plataformas fechadas não necessitam.	Estão previstas a instalação de câmeras nas plataformas e no veículo.	Instalação de câmeras de segurança nas estações e no veículo.
6.2.1 Equipamentos da central de controle.	Na central deve haver monitores com identificação de onde são as imagens das câmeras de segurança.	Haverá um monitor exclusivo para as câmeras de segurança na central de controle.	Instalar monitores de segurança.
6.2.2 Equipamentos da estação de passageiros	As câmeras das estações devem obedecer a uma série requisitos previstos em norma.	Haverá câmeras nas estações.	Instalar câmera.
6.2.3 Gravação das transmissões de vídeo	Deve ser instalado um sistema para gravar a imagem de cada câmera no sistema.	O sistema de gravação ainda não está definido.	O sistema de gravação pode ser no computador da central (gravação em HD).

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
6.3 Dispositivos de informação ao passageiro	Alguns anúncios de áudio e sinais dinâmicos são necessários para os sistemas de APM.	Não está previsto tal sistema.	-
6.3.1 Informações nos veículos	Informações audiovisuais relativas à rota e à próxima estação devem ser passadas ao usuário com antecedência.	Não está previsto tal sistema.	Instalar sistema de áudio.
6.3.2 Informações na estação	Informações audiovisuais relativas à chegada e à partida dos trens devem ser passadas ao usuário com antecedência.	Não está previsto tal sistema.	Instalar sistema de áudio.
7 VEÍCULOS	Esta seção fornece padrões para veículos *Automated People Mover* (APM) até 100 km/h. Para velocidades maiores deve haver um parecer técnico de um engenheiro.	O veículo MagLev-Cobra enquadra-se nesta norma APM. Sua velocidade máxima é de aproximadamente 20 km/h	-
7.1 Capacidade de carga do veículo	A capacidade do veículo deve ser definida em número de pessoas, pelo proprietário, com base nas normas de conforto escolhida (A norma APM trata de alguns critérios mínimos).	O veículo tem a capacidade de 10 passageiros por módulo.	(Detalhado na Seção 6.1.6 da tese)

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
7.2 Pacote dinâmico do veículo	É todo o espaço ocupado pelo contorno móvel do veículo, incluindo projeção de membros dos passageiros, se as portas e janelas permitirem.	O MagLev-Cobra não permitirá o acesso de passageiros ao exterior do veículo quando em movimento. O pacote dinâmico é exatamente do tamanho do seu contorno externo. Qualquer possível projeção de partes do veículo durante falhas deve ser considerada.	Nada a fazer.
7.3 Folga nas estações	Para veículos lentos (abaixo de 32 km/h) as folgas horizontais e verticais nas estações não devem ultrapassar 25 mm na horizontal e 12 mm na vertical (folga veículo/estação).	O veículo MagLev-Cobra possui, intrinsecamente, um grau de liberdade de movimento devido sua concepção. A altura de levitação sofre influência direta da carga e os criostatos permitem certa quantidade de movimento lateral.	(Detalhado na Seção 6.1.7 da tese)
7.4 Desenho estrutural do veículo	Análise de questões estruturais do veículo.	A cargo da empresa Holus.	Este item deve ser auditado durante a certificação.
7.4.1 Análise estrutural	A análise estrutural deve considerar as cargas de projeto, conforme estabelecido na norma.	A cargo da empresa Holus.	Este item deve ser auditado durante a certificação.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
7.4.2 Análises estruturais anteriores	Análises anteriores podem ser utilizadas, se atualizadas por conta de: Alterações relevantes nas condições ambientais ou operacionais; Alterações de engenharia pertinentes nas dimensões do veículo, materiais ou processos de fabricação; Experiência de instalação anterior.	O projeto é novo, não há dados anteriores que possam ser utilizados.	Não se aplica.
7.4.3 Vida útil da estrutura	A estrutura do veículo deve ser projetada para operar, por pelo menos 20 anos, a menos que explicitamente especificado em contrário pelo proprietário.	A cargo da empresa Holus.	Este item deve ser auditado durante a certificação.
7.4.4 Critérios para o projeto estrutural	O projeto deve obedecer a uma série de critérios detalhados neste subitem da norma.	A cargo da empresa Holus.	Este item deve ser auditado durante a certificação.
7.5 Engates	Se os engates entre veículos forem usados, devem atender aos requisitos da norma.	O acoplamento de que trata a norma refere-se àquele utilizado para compor comboios e é usado para manobras em pátios e estações. O acoplamento usado no MagLev é estrutural e só pode ser acessado em oficina de manutenção. Portanto, o pacote dinâmico deve ser considerado uma única peça.	Não há adequação a fazer.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
7.5.1 Projeto Mecânico	Engates devem permitir o acoplamento e desacoplamento de trens em qualquer parte do sistema, inclusive dentro de todas as instalações de manutenção ou pátios de estocagem.	Não se aplica.	Não se aplica.
7.5.2 Controle e alimentação elétrica	Controle e alimentação elétrica do engate.	Não se aplica.	Não se aplica.
7.5.3 Interfaces de acoplamento	Tipos de manobras do engate: manual e automática com ou sem supervisão.	Não se aplica.	Não se aplica.
7.6 Suspensão e guia	Quando são utilizados pneus, a falha de um pneu em manter a pressão adequada, não deve resultar em uma condição que permita danos aos veículos, ao sistema elétrico ou ao trilho, ou apresentar um risco para os passageiros.	Do mesmo modo que ocorre com pneus, a perda de elementos de levitação, também não deve resultar em danos. É previsto um sistema de monitoramento do gap de levitação. Na programação serão previstos dispositivos de alarme e emergência para garantir que os danos e os riscos sejam eliminados.	Programar os dispositivos com base nas leituras dos sensores de altura de levitação, com a finalidade de gerarem alarmes para garantirem que os danos e os riscos sejam eliminados.
7.7 Conforto do passageiro	Esta seção descreve as áreas do projeto do veículo que afetam o conforto dos passageiros.	As normas devem ser atendidas.	As normas devem ser atendidas.
7.7.1 Aquecimento e ar Condicionado	Aquecimento e ar condicionado são opcionais, mas, quando previsto, deve atender aos requisitos da norma.	Não está previsto ar condicionado para o veículo.	Nada a Fazer.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
7.7.2 Ventilação	Deverá ser fornecida ventilação adequada em todos os veículos.	O veículo conta com aberturas nos módulos 1 e 4 destinados a ventilação.	Nada a fazer.
7.7.3 Qualidade da viagem	A qualidade da viagem deve atender aos requisitos da norma. Medições devem ser feitas no interior do veículo. Tópicos de qualidade: 7.7.3.1 Aceleração e limites de solavancos; 7.7.3.1.1 Aceleração máxima sustentada; 7.7.3.1.2 Taxa máxima de solavancos (impulsos); 7.7.3.2 Teste de resposta humana.	As taxas de aceleração são determinadas em 5.2.1. O veículo é promissor no que diz respeito ao conforto do usuário em situações de arrancada, aceleração e frenagem, pois não possui atrito roda-trilho. Os testes da seção 5.4 apresentam três taxas de aceleração.	(Detalhado na Seção 6.1.8 da tese)
7.7.4 Níveis de Ruído	Os níveis de ruído interno, com todos os equipamentos auxiliares em funcionamento, não devem ser excedidos nas condições definidas em norma.	O MagLev foi concebido para ser um veículo silencioso. Somente medições poderão comprovar.	Realizar medições e confrontar com a norma.
7.7.5 Vibração	O interior do veículo deve ser projetado para evitar a ressonância de painéis e outros componentes. Montagens de equipamentos devem ser projetadas para minimizar a transmissão de vibração.	O veículo foi concebido para não ter atrito com a via e, portanto, ter baixos níveis de vibrações. Porém, ainda existem pontos de contato das rodas de segurança dos criostatos com a via e pontos de contato da roda de segurança do primário com o secundário do LIM, provocando vibração.	Eliminar pontos de contato.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
7.7.6 Compartimento de passageiros	Disposições sobre o compartimento de passageiros: 7.7.6.1 Sinais assentos prioritários; 7.7.6.2 Circulação interior, corrimãos e suportes; 7.7.6.3 Superfícies de piso; 7.7.6.4 Materiais e elementos de fixação.	A viagem do MagLev-Cobra é curta, não foram previstos assentos. Os corrimãos foram instalados no teto do veículo, o piso é emborrachado.	Estes aspectos serão auditados durante a certificação.
7.8 Portas, acessos e saídas	Os veículos devem ser equipados com controle automático (horizontal) de portas de correr para a entrada e saída de passageiros. A altura mínima da porta deve ser de 1,93 m, abertura mínima de 0,76 m, a força de fechamento da porta não deve exceder 133 N, a força necessária para a abertura da saída de emergência não deve exceder 156N.	O vão livre da porta mede 2,00 m de altura e 1,07 m de largura. Não foram medidas as forças de fechamento da porta e nem a força necessária para a abertura da saída de emergência.	Medir e adequar as forças da porta e da saída de emergência.
7.9 Janelas	As janelas, vidros e plásticos laminados devem obedecer aos padrões utilizados em veículos automotivos terrestres.	As janelas são de policarbonato.	Nada a fazer.
7.10 Proteção contra incêndio e inflamabilidade	A categoria de risco de incêndio deve enquadrar-se como categoria de catástrofe.	O material utilizado na estrutura é do tipo auto extinguível. Demais materiais devem ser analisados.	Analisar item a item. Está análise é prevista no processo de certificação.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
7.10.1 Seleção de material	Os materiais devem ser anti-chama. Óleos e fluidos hidráulicos devem ser inibidores de chama, com algumas exceções.	O veículo não possui rodas, câmbio e nem diferencial, a lubrificação é mínima, restringindo-se ao sistema de portas(redutor) e freio mecânico.	Verificar e substituir o fluido do sistema de freios e redutores, se necessário.
7.10.2 Proteção térmica	Os motores elétricos devem ser providos de sensores de temperatura ou sensores de sobrecorrente.	O LIM não possui proteção térmica. O circuito do inversor/motor possui proteção contra sobrecorrente e curto circuito. O controlador dos motores de porta possui proteção contra sobrecorrente.	Nada a fazer.
7.10.3 Extintores de incêndio	Os extintores devem atender à classe ABC. Devem estar bem visíveis.	Existe a previsão para que o MagLev-Cobra utilize extintores náuticos, pois é feito do mesmo material utilizado em embarcações.	Instalar extintores náuticos.
7.10.4 Detector de fumaça	Em cada compartimento deve haver um detector de fumaça que avisa a central.	Não há previsão de instalação deste item.	Instalar item.
7.11 Iluminação	Deve haver iluminação interna e externa.	A iluminação interna será de LED e a iluminação externa contará com a iluminação do Campus e iluminação a LED específica ao longo de toda a via.	Nada a fazer.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
7.11.1 Iluminação interna	Deve ser de material anti-vandalismo. Mínima de 54lux no piso do veículo, mas, com veículo parado na estação a mínima deve ser de 250lux no plano de trabalho de 76 cm.	Iluminação decorativa a LED.	Medir a iluminação atual e adequar, caso necessário.
7.11.2 Iluminação de emergência	A iluminação de emergência deve estar conectada a um sistema de baterias e prover uma iluminação satisfatória. Esta deve obedecer às análises de risco do item 3.1.2.1.	Toda a iluminação do veículo já está conectada ao sistema de baterias. Permanecerá acesa mesmo durante falha nos circuitos de alimentação do veículo.	Nada a fazer.
7.11.3 Identificação de direção e faróis	O destino deve ser identificado nas partes dianteira e traseira. Veículos que admitem controle manual devem possuir farol (mínimo de 5lux a 10m de distância).	Não há previsão letreiros luminosos no veículo. O veículo não possuirá faróis.	Não se aplica a este veículo. As duas estações são visíveis entre si e a via é iluminada.
7.12 Sistemas elétricos	Cabos e equipamentos elétricos devem ser inacessíveis aos passageiros.	Todos os sistemas correrão sob a carenagem.	Nada a fazer.
7.12.1 Subsistema de propulsão	Será tratado na Seção 8.	-	-

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
7.12.2 Subsistema Auxiliar	Deve prover energia para sistemas independentes da propulsão: 7.12.2.1 Baixa Tensão; 7.12.2.2 Dispositivos de proteção; 7.12.2.3 Energia de emergência.	O sistema auxiliar conta com baixa tensão proveniente de baterias. As baterias são seladas. Os circuitos serão dotados de relés, fusíveis e outros dispositivos de proteção intrínsecos aos conversores. A energia de emergência vem das baterias que tem autonomia e recarga diária.	Nada a fazer.
7.12.3 Fiação elétrica	A fiação elétrica deve ser de cobre, identificada conforme esquema elétrico e separada do sistema de potência para evitar interferência eletromagnética.	As instalações devem obedecer ao projeto elétrico do MagLev.	Prover a total identificação da fiação elétrica e confrontá-la com o projeto. Correções do tipo *as-built* podem ser necessárias. (Detalhado na Seção 6.1.9 da tese)
7.12.4 Coletores de energia	Coletores de energia devem ser compatíveis com os barramentos. Devem ser redundantes e protegidos contra contato acidental de pessoas.	Coletores são compatíveis com as barras e são redundantes.	(Detalhado na Seção 6.1.10 da tese)
7.12.5 Aterramento	Quando a tensão a bordo for maior que 48V o veículo deve ser eletricamente aterrado exceto quando explicitamente indicado o contrário.	O MagLev tem uma particularidade de desacoplamento entre o primário (preso ao veículo) e o secundário (preso à via). O mancal (roda de proteção) é isolado para evitar danos e fuga de corrente.	(Detalhado na Seção 6.1.11 da tese)

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
8 PROPULSÃO E FRENAGEM	O sistema de propulsão e frenagem (*PBS – Propulsion and Braking System*) corresponde a todos os elementos que compõem a propulsão do veículo e atendem ao *ATC* ou ao comando manual.	Detalhados ao longo da tese.	Detalhados ao longo da tese.
8.1 Avaliação do sistema de propulsão e frenagem	O sistema deve obedecer aos padrões e especificações contidas na norma (seções 2.1.1, 5.1.2, 7.1 e 7.7.3).	Detalhados ao longo da tese.	Detalhados ao longo da tese.
8.2 Métodos de propulsão e frenagem	Os métodos podem ser quaisquer que atendam os requisitos da norma. Alguns métodos são citados neste item, mas outros poderão ser utilizados.	O MagLev-Cobra traciona com o LIM. A frenagem se dá pelo LIM, por freio CC e por um sistema mecânico.	Nada a Fazer.
8.2.1 Aderência da propulsão	Deve haver métodos que garantam a aderência necessária dos trilhos durante a tração.	O tracionamento por motor de indução linear não requer atrito.	Não há adequação a ser feita pois o sistema não utiliza atrito para transferir esforço.
8.2.2 Propulsão por elemento de tração	Quando são tracionados por elementos de tração (como por exemplo cabos de aço) existem recomendações específicas.	Não se aplica ao MagLev-Cobra.	Nenhuma.
8.2.3 Propulsão por fluxo de ar	A preocupação neste item é que nenhum tipo de jato de ar (vazamento) deve atingir pessoas ou instalações.	Não se aplica ao MagLev-Cobra.	Nenhuma.
Dispositivos eletromagnéticos*	* Embora tenha sido citado no item 8.2, nenhum subitem foi criado para detalhar este método.	O MagLev-Cobra utiliza o motor de indução linear para tracionar o veículo.	Nenhuma.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
8.3 Funções da frenagem	Existem três tipos de frenagem previstos: Frenagem de serviço, frenagem de emergência e frenagem de estacionamento.	A frenagem de serviço é feita pelo motor linear. A frenagem de emergência utiliza o motor linear e o freio mecânico. A frenagem de estacionamento se dá através do freio mecânico.	(Detalhado na Seção 6.1.12 da tese)
8.3.1 Frenagem de serviço	Os freios de serviço devem atender as condições de carga e serviço previstas sem superaquecimento.	(Detalhado na Seção 6.1.12 da tese)	(Detalhado na Seção 6.1.12 da tese)
8.3.2 Frenagem de emergência	Deve ser possível parar o veículo apenas com o "freio de atrito". Os comandos de frenagem de emergência deverão ter prioridade sobre quaisquer outros comandos. O comando de parada de emergência deve ser irrevogável. Fontes de energia que atendem o freio devem ser redundantes. Um sistema de parada de emergência *onboard* deve ser previsto. As paradas de emergência não devem danificar nenhum tipo de dispositivo do sistema.	(Detalhado na Seção 6.1.12 da tese)	(Detalhado na Seção 6.1.12 da tese)

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
8.3.3 Frenagem de estacionamento	Quando neste estado, os freios devem ser capazes de manter o veículo imóvel o tempo suficiente para a saída de todos os passageiros no caso de parada por emergência e perda total de energia. Tempos maiores podem ser exigidos em caso de paradas sem perda de energia (mínimo de 24H). Os elementos de frenagem de estacionamento podem ser os mesmos dos de frenagem de emergência.	(Detalhado na Seção 6.1.12 da tese)	(Detalhado na Seção 6.1.12 da tese)
8.4 Projeto dos componentes dos sistemas de propulsão e frenagem	PBS *(propulsion and braking systems)* serão definidos nas seções a seguir.	-	-
8.4.1 Requisitos de projeto	O projeto deve conter: 1- Descrição dos métodos e componentes de projeto. 2- Resultados e dados de cálculos considerando riscos e condições operacionais. 3- Resultados de testes efetuados.	Projeto estrutural – desenvolvido pela empresa Holus. Projeto da propulsão – desenvolvido pela empresa Equacional. Projeto dos freios – desenvolvido pela empresa SeaHorse.	Testar os componentes de propulsão e frenagem para confrontá-los com as especificações de projeto. No processo de certificação os requisitos de projeto deverão ser atendidos.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
8.4.2 Requisitos de Serviço	Os componentes de propulsão e frenagem devem ter fatores de serviço adequados ao ciclo de trabalho. Sistemas bidirecionais devem possuir componentes de ação bidirecional. Freios de atrito, excluindo os de auto-travamento, deverão possuir mecanismo de liberação manual. Os componentes não poderão se degradarem dentro da vida útil especificada.	Projeto estrutural – desenvolvido pela empresa Holus. Projeto da propulsão – desenvolvido pela empresa Equacional. Projeto dos freios – desenvolvido pela empresa SeaHorse. O MagLev-Cobra é bidirecional, ele é simétrico e seus componentes são adequados ao movimento bidirecional.	Testar os componentes de propulsão e frenagem para confrontá-los com as especificações de projeto. No processo de certificação os requisitos de serviço deverão ser atendidos.
8.5 Instalação e proteção	Este item trata de instalações de acoplamentos giratórios, casas de máquinas, motores, freios, etc. E seu isolamento contra o acesso de pessoas.	A forma construtiva do MagLev não conta com elementos rotativos, todo o sistema de propulsão e frenagem encontram-se sob o assoalho do veículo, sem acesso aos passageiros. O secundário do motor linear não possui alimentação elétrica e é fixo, passivo. O MagLev não possui casa de máquinas.	Nada a fazer.
8.6 Controle e intertravamento	Quando a frenagem de emergência é aplicada, a propulsão será automaticamente desligada, evitando ação simultânea da propulsão e frenagem.	O intertravamento é previsto na programação do controle e em todos os sistemas de comando.	Prever um intertravamento redundante.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
8.7 Teste de freio	Testes periódicos devem ser realizados nos sistemas de freio. Critérios de teste devem ser obedecidos.	O tipo e a periodicidade dos testes devem ser definidos no "Plano de Programa de Segurança do Sistema".	Criar o plano com base no item 3.1 da norma.
9 EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS	-	-	-
9.1 Geral	Os requerimentos abaixo devem ser observados em um sistema APM.	-	-
9.1.1 Segurança	Os passageiros, operadores e pessoal de manutenção, bem como a equipe de socorro devem estar protegidos do contato com tensões que possam ferir ou matar. A luz azul (ferroviária) deve indicar o perigo.	Os trilos de energia energizados com 534VCC são protegidos contra contato humano. As luzes azuis ferroviárias não foram previstas.	(Detalhado na Seção 6.1.13 da tese)
9.1.2 Controle de corrosão	Métodos e materiais adequados devem ser utilizados para proteger as estruturas contra corrosões que possam afetar o desempenho dos aterramentos e componentes em geral.	Métodos e materiais especificados no projeto de SPDA.	Prever inspeções periódicas no "Plano de Programa de Segurança do Sistema".

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
9.1.3 Sistema de proteção elétrica	Deve haver proteção automática contra falha, sobrecorrente, sobretensão, subtensão, bloqueio, falta à terra e sequência de fase aplicáveis a corrente alternada ou corrente contínua. A proteção deve ser seletiva isolando, se possível somente a parte afetada ou componentes próximos. As falhas devem ser sinalizadas por luzes de segurança.	Várias destas proteções estão incorporadas no CFW11 do veículo e, também, no painel retificador regenerativo da linha de alimentação CC. A seletividade pode ser alcançada com a utilização de apenas um inversor para deslocamentos em baixa velocidade em situações de falha.	Verificar se todas as proteções foram atendidas e atendê-las.
9.1.4 Aterramento	Esta seção trata do aterramento elétrico para prevenir danos aos equipamentos e choques elétricos.	O aterramento das estruturas é feito com base no SPDA. O veículo é aterrado com a utilização de um barramento de terra e escovas.	Nada a fazer.
9.1.4.1 Aterramento da tração	Um trilho de aterramento deve existir para aterrar o veículo durante todo o trajeto. O sistema não deve permitir uma tensão de toque superior a 60V acessível a qualquer pessoa.	O sistema possui o trilho de aterramento. E o motor é aterrado.	Nada a fazer.
9.1.4.2 Aterramento das instalações e estruturas	O aterramento deve ser fornecido para instalações fixas e estruturas.	A norma brasileira de SPDA contempla o aterramento das instalações e estruturas. As instalações obedecem a um projeto de SPDA.	Nada a fazer.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
9.1.5 Redundância	Deve haver um modo redundante de suprimento de energia. Operação em condições reduzidas de operacionalidade é permitida. Porém, falhas críticas devem ser sinalizadas.	Cada um dos dois inversores dos motores do veículo é alimentado pelo mesmo trilho, mas as escovas coletoras são independentes e redundantes. No caso de perda de um dos sistemas o veículo irá operar com velocidade reduzida.	Nada a fazer.
9.1.6 Vida útil	Transformadores, retificadores e toda a fiação deve ter vida útil de 30 anos. Calhas de alimentação e outros equipamentos, vida útil de 15 anos. A menos que indicado pelo fabricante.	A vida útil será determinada pelos fabricantes dos equipamentos.	Consultar principais fabricantes.
9.1.7 Regulação de tensão	A tensão deve ser regulada para garantir as condições normais de operação dos componentes do sistema e não diminuir a vida útil dos equipamentos a bordo.	A alimentação é proveniente de uma subestação próxima ao retificador WEG. Este faz a regulação de tensão.	Nada a Fazer.
9.1.8 Capacidade	A capacidade da fonte de alimentação deve ser tal que atenda adequadamente as cargas atuais e as previstas para expansões futuras.	Os dimensionamentos de projeto foram respeitados.	Nada a fazer.
9.2 Equipamentos da subestação de energia	Os equipamentos da subestação devem atender aos itens a seguir:	-	-
9.2.1 Interfaces com a concessionária local	Todas as conexões devem interagir adequadamente com a concessionária local.	Em operação normal o trem é uma carga como outra qualquer. Questões como qualidade e regeneração de energia não foram tratadas junto à concessionária.	Em caso de se trabalhar com regeneração de energia. Contatar a concessionária.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
9.2.2 Fator de potência	O fator de potência mínimo não deve ser menor que 0,8 atrasado.	Não há registros deste fator.	Investigar qual o fator de potência do sistema. E se necessário, corrigi-lo.
9.2.3 Harmônicas	Devem ser obedecidos os critério da tabela 11 da norma "*I of IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*", IEEE Standard 519-1992."	Não há registros deste fator	Investigar qual a distorção harmônica do sistema. E se necessário, corrigi-la.
9.2.4 Sistema de monitoramento e alarmes	Equipamentos de indicação devem ser instalados dentro da subestação para monitorar a alimentação. Variáveis mínimas monitoradas: sobre e sub tensão, sobrecorrente, falta à terra, painéis em modo local, excesso de temperatura, perda de fase, fogo e fumaça. Transformadores e retificadores devem ser monitorados.	Algumas destas variáveis já são monitoradas pelo CFW11 do retificador. Para transmitir as informações para central é necessária a instalação de um transmissor neste equipamento.	Instalar sensores e transmissores na subestação.
9.2.5 Equipamento de regeneração de energia	Sistemas de regeneração são permitidos. Os limites de sobretensão advindas da regeneração deverão ser respeitados. Prever e evitar a energização acidental de trilhos desenergizados pelo sistema de regeneração.	Sistema projetado pela WEG.	Verificar se todos os requisitos foram atendidos. Caso não tenham, atendê-los.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
9.2.6 Monitoramento e controle remotos	A subestação deve ser monitorada e controlada remotamente. As operações devem ser registradas com data e hora.	A subestação atual é comandada manualmente e não possui monitoramento.	Implantar um sistema de monitoramento e controle.
9.2.7 Controle local	A subestação deve ser provida de um seletor para comandos locais. Quando o modo local for ativado a central de controle deve ser informada.	A subestação atual é comandada manualmente e não possui monitoramento.	Implantar um sistema de monitoramento e controle com opção para comando local.
9.2.8 Restauração de energia	O equipamento principal de alimentação da subestação deve poder ser restaurado (religado) tanto remotamente quanto localmente. O religamento automático é permitido mediante testes na linha e o atendimento de normas de segurança.	A subestação atual é comandada manualmente e não possui monitoramento.	Implantar um sistema de monitoramento e controle com opção para comando local.
9.2.9 Instalações da subestação	As subestações devem obedecer às normas vigentes. Deve haver equipamentos de prevenção de acidentes.	Subestação antiga.	Modernizar subestação.
9.3 Coletores de energia	Os coletores de energia devem obedecer as recomendações a seguir.	-	-
9.3.1 Montagem do trilho de energia	Este item traz orientações gerais sobre a instalação dos trilhos e enfatiza que os mesmos devem suportar todas as condições de operação.	O trilho foi projetado pelo Eng Roberto Oliveira, colaborador do projeto MagLev e segue padrões exigidos.	Nada a Fazer

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
9.3.2 Alimentação por setores	Este item trata da alimentação por setores.	No MagLev, todo o percurso será alimentado de uma só vez devido ao comprimento reduzido de 200m.	Nada a fazer.
9.3.3 Exigências para as emendas	As emendas devem possuir superfície de contato e dissipação de calor adequadas.	As emendas são fornecidas pelo mesmo fabricante do trilho. E são próprias para o mesmo.	Nada a fazer.
9.3.4 Juntas de dilatação	As juntas de dilatação devem suportar as variações de temperatura ambiente e as causadas pela circulação de corrente e curto circuito.	Os suportes de fixação fornecidos pelo fabricante do trilho de alimentação permitem um deslizamento longitudinal dos mesmos. As duas extremidades ficam livres absorvendo as expansões e retrações.	Nada a fazer.
9.3.5 Transição entre trilhos de alimentação	Onde houver seccionamento do trilho, devem haver meios da sapata coletora comutar entre trilhos na velocidade nominal do veículo.	No MagLev não haverá seccionamento do trilho.	Nada a fazer.
9.3.6 Isoladores	A superfície do material isolante deve ser liso, duro, resistente aos raios UV e ante chama. Os condutores de alimentação devem ser protegidos contra contato acidental.	Os isoladores são fornecidos pelo mesmo fabricante do trilho. E são próprios para o mesmo.	Nada a fazer.
9.3.7 Montagem	A montagem deve ser rígida, permitindo apenas movimentos longitudinais para expansão térmica.	Os trilhos são fixados com suportes apropriados que permitem somente movimentações longitudinais.	Nada a fazer.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
9.3.8 Resistência trilho-terra	A resistência deve ser de 1MΩ para cada 300m em CA e 500Ω para cada 300m em CC. Em quaisquer condições.	Os isoladores são fornecidos pelo fabricante do trilho.	"Megar" o trilho. E se necessário, corrigir.
9.3.9 Aquecimento do trilho	Prever aquecimento do trilho para locais com congelamento potencial.	Na região de instalação do MagLev não há registro de temperaturas suficientes para o aparecimento de gelo.	Nada a fazer.
9.4 Equipamentos elétricos da estação de passageiros	Equipamentos de iluminação devem ser comandados de um único local. Comunicações da estação e alarmes, iluminação de emergência e sinalização deve ter back-up de energia com fonte de alimentação ininterrupta.	Toda a iluminação das estações é comandada da oficina de manutenção. Não há iluminação de emergência.	Instalar iluminação de emergência.
9.5 Fonte de alimentação ininterrupta	Fontes ininterruptas para os equipamentos: -ATC; comunicações; equipamentos de incêndio e segurança; controle da subestação de energia.	Não há previsão para este item.	Instalar fonte de alimentação ininterrupta.
10 ESTAÇÕES	Abrange espaços de equipamentos APM, embarque de passageiros e plataformas de desembarque.	-	-
10.1 Acessibilidade de pessoas com deficiência	Determina requisitos referentes entre a plataforma e o piso do veículo.	Possui subitens para detalhamento.	-
10.1.1 Distâncias entre o trem e a plataforma	Requisitos definidos no item 7.3 devem ser respeitados.	Dentro de padrões para a condição de carga AW0.	Verificar as distâncias com todas as condições de carga.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
10.1.2 Faixas de aviso visíveis	Faixas de aviso de segurança devem estar presentes ao longo de toda a plataforma.	Piso na cor amarela limitando área de segurança.	Colocar todos os avisos previstos em norma avisos.
10.2 Proteção da borda da plataforma	Vários tipos de proteção são sugeridos, mas qualquer proteção que seja aceita pelos órgãos locais podem ser implantadas.	Piso na cor amarela limitando área de segurança.	Nada a fazer.
10.2.1 Sistema de proteção contra intrusos	Neste item são detalhados os requisitos técnicos que devem ser obedecidos na construção das barreiras contra intrusos.	A barreira não está prevista. Este veículo conta com seguranças nos mesmos moldes do metrô.	Instalar a barreira cumprindo os requisitos estabelecidos neste item.
10.2.2 Sistema de controle contra intrusos	Neste item são detalhados os requisitos técnicos que devem ser obedecidos no controle e anúncios sonoros das barreiras contra intrusos.	A barreira não está prevista. Este veículo contará com seguranças nos mesmos moldes do metrô.	Programar o controle e anúncios sonoros cumprindo os requisitos estabelecidos neste item.
10.2.3 Sistema de detecção de intrusos	Se previsto, o sistema é detalhado neste item. Devendo detectar elementos a partir de 0,3 m e 9 kg.	Não está previsto um sistema de detecção.	O sistema pode ser implantado utilizando as imagens do sistema de TV previsto para as estações.
10.3 Evacuação de trens desalinhados	Deve ser possível evacuar o trem se este estiver desalinhado com a estação.	É prevista a saída de passageiros pelas portas de emergência localizadas nas duas extremidades do veículo.	Nada a fazer.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
10. 4 Ventilação e iluminação de emergência	Para estações incorporadas à construções os critérios adotados devem ser os dá construção. Para estações dedicadas ao APM, a ventilação e a iluminação devem basear-se em estações ferroviárias. A iluminação deve ser ante vandalismo.	As estações são abertas e arejadas. A iluminação encontra-se a uma altura satisfatória do piso, o que impede atos de vandalismo.	Nada a fazer.
10.5 Proteção contra incêndio	Deve obedecer a legislação local.	-	-
10.5.1 Detecção de incêndio	Todas as estações devem estar providas de detectores de calor e de fumaça. Estes devem estar interligados com a central de controle.	Este item não foi previsto.	Instalar detectores de incêndio.
10.5.2 Contenção de fogo.	Portas e janelas devem ser capazes de conter a propagação de fogo. Segundo normas locais	As estações são abertas e arejadas. Não possuem portas nem janelas.	Nada a fazer.
10.5.3 Supressão de incêndio	Se previsto, deve estar de acordo com normas locais ou de transporte ferroviário.	Este item não foi previsto.	Nada a fazer.
11 TRILHOS	Os requisitos desta seção se aplicam a linhas elevadas, ao nível do solo e no subsolo.	-	-

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
11.1 Estações de luz azul	São locais ao longo do caminho de trem, indicado por uma luz azul, onde os serviços de emergência ou o pessoal autorizado pode se comunicar com as estações de supervisão central e desligar a alimentação de tração (Obs. a luz não tem que ser, necessariamente, azul).	Este item não foi previsto.	Identificar o local e instalar os dispositivos necessários.
11.2 Detecção e proteção de intrusos	Deve haver uma detecção e proteção contra o acesso de pessoas e objetos aos trilhos.	O trilho do MagLev é composto de imãs. A proteção contra atropelamentos deve ser feita por contensão nas estações visto que o acesso pela via é dificultado por se tratar de via elevada.	Promover a colocação de avisos e anteparos para impedir o acesso aos trilhos.
11.3 Acesso e evacuação de emergência	O acesso e evacuação de passageiros pelos trilhos em situações de emergência devem obedecer à norma NFPA 130,2007.	Prevista no manual do operador Apêndice E.	Verificar se o manual atende a todos os requisitos da norma. Se não, adequá-lo.
11.3.1 Evacuação em trilhos de tuneis	Deve obedecer a norma NFPA 130, 2007.	Não se aplica ao MagLev que é construído em via elevada.	Nada a fazer.
11.3.2 Evacuação em trilhos de superfície	Deve obedecer a norma NFPA 130, 2007.	Não se aplica ao MagLev que é construído em via elevada.	Nada a fazer.
11.3.3 Evacuação em trilhos de elevados	Deve obedecer a norma NFPA 130, 2007.	Prevista no manual do operador Apêndice E.	Verificar se o manual atende a todos os requisitos da norma. Se não, adequá-lo.
11.4 Proteção contra incêndio	Deve obedecer a norma NFPA 130, 2007.	Este item não foi previsto.	Promover proteção contra incêndio.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
11.5 Sinalização	Deve haver sinalização ao longo do trilho para indicar os procedimentos a serem adotados em caso de evacuação.	Este item não foi previsto.	Promover sinalização.
11.6 Ventilação e iluminação de emergência	Para vias subterrâneas, deve obedecer a norma NFPA 130, 2007. Para vias elevadas a iluminação deve obedecer o valor mínimo de 2,7 LUX.	Iluminação a LED ao longo da via. Iluminância não medida.	Medir iluminância e promover adequação, caso necessária.
11.7 Fonte de energia de emergência	Em vias subterrâneas deve haver uma fonte de energia de emergência para suprir a ventilação. Deve obedecer a norma NFPA 130, 2007	Não se aplica a vias elevadas com ventilação natural.	Nada a fazer.
11.8 Traçado dos trilhos	Os trilhos devem ser construídos de acordo com a norma ASCE / T & DI 21,2-08, Seção 7.7.3.	As limitações do traçado, curvaturas, transições entre inclinações, graus de inclinações laterais, etc. São intrínsecos ao MagLev-Cobra, não havendo normatização a respeito.	Determinar os limites com base nos ensaios e projetos já feitos.
11.8.1 Afastamentos	Os afastamentos mínimos entre veículos e entre veículo e partes fixas, quando em movimento, deve ser de no mínimo 100 mm. Se houver possibilidade de contato entre o trem e a plataforma, ambos devem estar protegidos para evitar danos.	O MagLev é projetado para circular longe de partes móveis. Sua construção sem rodas permite um movimento lateral diferente dos trens roda-trilho, aumentando a possibilidade de um contato com a plataforma.	Prever as proteções (borracha, por exemplo) no veículo e na estação.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
11.8.2 Interface com equipamentos operacionais	O trilho deverá fornecer apoio e orientação para veículos de passageiros e veículos de serviço em todo o sistema APM. A concepção do trilho deve permitir acomodar todos os elementos do sistema APM que poderão ser instaladas no trilho.	Não haverá veículo de serviço na linha experimental do MagLev-Cobra.	Nada a fazer.
11.8.3 Drenagem	O sistema de drenagem deverá encaminhar a água para um local adequado. Nos casos em que um sistema de drenagem está incluído na concepção do trilho, as superfícies devem ser inclinadas para os drenos com uma inclinação mínima de 1%.	É previsto um sistema de drenagem na linha. A inclinação da linha é de aproximadamente 1%.	Nada a fazer.
11.9 Critérios estruturais	O trilho para uma APM deve cumprir os requisitos de projeto estrutural a seguir e os requisitos dos códigos locais aplicáveis.	-	-
11.9.1 Forças e cargas	A *Automated People Mover Standard especifica* os critérios técnicos que devem ser adotados para o projeto estrutural.	A via elevada foi construída pela construtora OAS.	Conferir cargas de projeto.
11.9.2 Combinação de cargas	O transporte de cargas vivas deve ser considerado. Todas as possibilidades ou as possibilidades críticas de movimento da carga (pessoas) dentro do veículo devem ser investigadas.	Estudo não realizado.	Realizar estudo de movimentação de cargas vivas e determinar o número máximo de passageiros.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
11.9.3 Análise e projeto	Neste item são especificados e analisados os limites máximos suportáveis e os parâmetros de projeto.	A via elevada foi construída pela construtora OAS.	Analisar os limites de projeto.
12 SEGURANÇA	Prevenção, identificação e resolução riscos de pontos vulneráveis.	-	-
12.1 Programa de segurança do sistema	Programa de segurança do sistema.	-	-
12.1.1 Gerenciamento e responsabilidades	Documentação dos planos de gestão de segurança e prevenção.	Ainda não há um plano para situações de emergência.	Deve ser feito um plano de contingência para tratar de situações inseguras, ou de vandalismo, ou terrorismo. Deve haver uma hierarquização dos responsáveis pela segurança.
12.1.2 Identificação de problemas de segurança	Processo de resolução de avaliação da ameaça e vulnerabilidade. Informações de inteligência de segurança.	Possível interligação com o centro de controle da SETRANS ou do Metrô RIO, com o qual há um processo de cooperação em andamento.	Levantar os problemas de segurança que serão verificados durante o processo de certificação.
12.1.3 Seleção de funcionários	Deve haver critérios para investigar os antecedentes dos funcionários.	Convênio com o Metrô RIO para empréstimo de funcionários qualificados.	Confirmar o convênio de cooperação com o Metrô RIO e aproveitar a experiência do funcionário selecionado.
12.1.4 Treinamento	Orientações e materiais de conscientização para treinar operadores e usuários.	Ainda não há material previsto.	Elaborar e distribuir material e orientações.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
12.1.5 Auditorias e treinamentos	-Treinamento funcional no mínimo a cada seis meses - Exercícios de simulação de emergência pelo menos anualmente.	Ainda não há treinamentos e simulações previstas.	Confirmar o convênio de cooperação com o Metrô RIO e prever treinamento e simulações.
12.1.6 Controle de Documentos.	O acesso à documentação de sistemas críticos de segurança e instalações deve ser controlado.	Ainda não há um centro para concentração de documentos.	Criar uma central para arquivar documentos e projetos. Preferencialmente no centro de controle do LESFER.
12.1.7 Controle de Acesso	Devem ser estabelecidos requisitos para controle de acesso.	O acesso é livre, sem controle.	Implementar a bilhetagem eletrônica com controle de acesso e superlotação. Só acessa a área de embarque o número máximo de passageiros por viagem.
12.2 Plano do programa de segurança do sistema	Um plano escrito para documentar o programa de segurança do sistema deve ser desenvolvido. (seguir orientações da bibliografia do Anexo C da norma APM).	Não há um plano.	Desenvolver um plano.
13 PREPARAÇÃO PARA SITUAÇÕES DE EMERGÊNCIA	Requisitos para o programa de preparação para emergência.	Não existe um programa.	Criar um programa.
13.1 Plano do programa preparação para situações de emergência	O programa do plano de preparação para situações de emergência deve ser documentado em um plano específico.	Não existe um plano.	Preparar e documentar um plano.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
13.1.1 Objetivo do Plano	O objetivo do plano do programa será a documentar como o sistema, os funcionários do sistema, outros grupos de apoio, e outras agências de apoio irá responder a uma emergência.	Não existe um plano.	Preparar e documentar um plano.
13.1.2 Conteúdo do Plano	Existe um roteiro de itens que devem constar no plano.	Não existe um plano.	Preparar e documentar um plano.
13.1.3 Orientação	Orientação para ajudar no desenvolvimento do Plano de Programa de Preparação para Emergências está estabelecida no Anexo C da norma APM.	Não existe um plano.	Preparar e documentar um plano.
13.2 Treinamento e exercícios	Treinamentos em cenários de emergência devem ser realizados como parte da exigência da formação, deverá ser conduzida pelo menos anualmente, e incluirá agências externas quando aplicável.	Não existe um plano.	Promover treinamentos previstos no plano para situações de emergência. Solicitar apoio/do Metrô RIO como agência Externa.
13.3 Procedimentos pós-emergência e coordenação de treinamento	O coordenador deve conduzir interrogatórios formais com a participação de representantes do pessoal envolvido após os treinos e os incidentes de emergência para criticar e melhorar o Programa de Preparação para Emergências.	Não existe um plano.	Cumprir os requisitos estabelecidos no plano para situações de pós-emergência.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
14 VERIFICAÇÃO E DEMONSTRAÇÃO DO SISTEMA	As aplicações da norma APM poderão ser verificadas separadamente ou durante demonstrações.	O MagLev-cobra encontra-se na fase de testes. Ainda não foram implementados todos os conceitos de APM.	Verificar a aplicação da norma APM. Isso pode ser feito durante testes e demonstrações.
14.1 Aplicabilidade de verificação previa	Neste item são listadas situações onde uma verificação prévia dos requisitos da norma é aplicável.	O MagLev-cobra encontra-se na fase de testes. Ainda não foram implementados todos os conceitos de APM.	Verificar os itens já implementados. A verificação total pode ser feita durante o processo de certificação.
14.2 Métodos de verificação	Cumprimento da norma ASCE APM deve ser verificado por: Revisão do projeto; Análise; Teste de qualificação; Teste de aceitação; Inspeção; Demonstração e Experiência anterior ou suas combinações.	Ainda não foram feitas verificações utilizando métodos da norma APM.	Fazer todas as verificações utilizando métodos previstos na norma.
14.3 Plano do sistema de verificação	Deve haver um plano de Verificação do Sistema.	Não existe um plano de verificação do sistema.	Criar um plano de verificação do sistema.
14.3.1 Requisitos Plano	Neste item são estabelecidas as partes e sequencia que o plano deve obedecer.	Não existe um plano de verificação do sistema.	Criar um plano de verificação do sistema contendo todos os requisitos estabelecidos em norma.
14.3.2 Sequência de verificação	A sequência lógica de verificação deve ser estabelecida de acordo com fluxograma contido na norma.	Não existe um plano de verificação do sistema.	(Detalhado na Seção 6.1.14 da tese).

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
14.3.3 Procedimento para documentação da inspeção e teste	Cada atividade de verificação deve ser documentada e incluir critérios de aprovação / reprovação.	Não existe um plano de verificação do sistema.	Criar um plano de verificação do sistema contendo procedimentos para documentação durante inspeções e testes.
14.4 Requisitos de aceitação de aplicação específica	Além das exigências de aceitação para demonstrar o cumprimento ASCE 21, a maioria das instalações APM devem satisfazer requisitos adicionais de aceitação específicos. Determinados no Anexo A da norma APM.	Não existe um plano de verificação do sistema.	Criar um plano de verificação do sistema. O plano deve obedecer aos requisitos estabelecidos no Anexo A da norma APM.
15 OPERAÇÃO, MANUTENÇÃO E TREINAMENTO	Esta seção apresenta os requisitos de planejamento e documentação para as operações do sistema, manutenção e treinamento.	-	-
15.1 Plano de operação do sistema	Um Plano de Operações do Sistema deverá ser elaborado antes do início do serviço de passageiros.	A previsão é que o veículo opere de 8:00 as 18:00, de segunda-feira a sexta-feira. Suas viagens ocorrerão sob demanda de passageiros.	Criar um plano de operação detalhado.
15.1.1 Estratégias operacionais do sistema	A primeira seção do Plano de Operações do Sistema deve fornecer uma descrição das estratégias operacionais do sistema.	A previsão é que o veículo opere de 8:00 as 18:00, de segunda-feira a sexta-feira. Suas viagens ocorrerão sob demanda de passageiros.	Criar um plano de operação detalhado.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
15.1.2 Manual de Procedimentos Operacionais	A segunda seção do Plano de Operação do Sistema, o Manual de Procedimentos Operacionais, deve fornecer instruções detalhadas para o sistema, cada componente e / ou subsistema.	Foi elaborado um manual de procedimentos operacionais (Apêndice E).	Incorporar o manual à segunda seção do Plano de Operação do sistema.
15.1.3 Plano de Pessoal	A terceira seção do Plano de Operações do Sistema será o Plano de Pessoal. Este plano deve incluir um organograma, descrições de trabalho, qualificações e níveis de pessoal necessários para a operação, manutenção e administração do sistema.	Não há um plano de pessoal.	Elaborar um plano de pessoal.
15.2 Plano de gestão	O plano de gestão deve incluir a descrição, políticas, normas e procedimentos para gerir a organização. Detalhes do plano de gestão estão além do escopo da norma.	O MagLev-Cobra deve operar de forma gratuita, mas um plano de gestão deve ser feito para gerenciar fontes de receita para mantê-lo em funcionamento.	Criar um plano de gestão.
15,3 Planejamento do sistema de inicialização e desligamento	A inicialização do sistema e desligamento deve ser feito em conformidade com procedimentos documentados.	O manual de procedimentos operacionais prevê a inicialização e o desligamento do sistema (Apêndice E).	Revisar Manual antes de incorporá-lo ao Plano de Operação do Sistema.
15.3.1 Planejamento de inicialização do sistema	Vários procedimentos são determinados pela norma para inicialização do sistema.	O manual de procedimentos operacionais prevê a inicialização e o desligamento do sistema (Apêndice E).	Revisar Manual antes de incorporá-lo ao Plano de Operação do Sistema.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
15.3.2 Planejamento de Desligamento do Sistema	Vários procedimentos são determinados pela norma para o desligamento do sistema.	O manual de procedimentos operacionais prevê a inicialização e o desligamento do sistema (Apêndice E).	Revisar Manual antes de incorporá-lo ao Plano de Operação do Sistema.
15.3.3 Desligamento/ ligamento não programados	Desligamento do sistema não programado e a reinicialização devem abordar os processos listados nos itens 15.3.1 e 15.3.2, a norma APM. Além disso, a causa e a duração da paralisação devem ser investigadas e registradas.	O manual de procedimentos operacionais prevê a inicialização e o desligamento do sistema (Apêndice E).	Revisar Manual antes de incorporá-lo ao Plano de Operação do Sistema.
15.4 Análise da restauração do serviço	Uma análise da restauração do serviço deverá ser elaborada, detalhando as condições de falha que podem ocorrer ao longo de todo o sistema e a resposta adequada a cada um. Com base nesta análise, serão estabelecidos critérios e metodologia para restaurar as operações normais, com tempo de inatividade mínimo. Este critério e a metodologia devem incluir requisitos previstos na norma.	Toda falha é analisada, porém não há uma metodologia de registro das mesmas.	Criar metodologia de registro de falhas, análise de falhas e registro da análise de falhas.
15.5 Relatórios de alarmes e avarias	Componentes dos sistemas operacionais devem ser monitorados automaticamente para condições mau funcionamento. Obedecendo a requisitos do item 5.3.3 da norma APM.	Ver item 5.3.3.	O item 5.3.3 da norma APM prevê o registro de alarme e avarias.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
15.6 Registros e gestão de relatórios	Este item trata de procedimentos e metodologias para o registro e gestão de relatórios de alarmes do sistema.	Os relatórios de falhas devem ficar no centro e comando do LESFER.	Nada a fazer.
15.7 Manutenção	O programa de manutenção deve abranger todos os aspectos que envolvem o sistema completo. Devem ser previstos procedimentos de manutenção preventiva; procedimentos para manutenção corretiva; e a documentação de todos os processos e peças em manuais de manutenção.	Não existe um programa de manutenção. Todos os componentes do sistema possuem folhas de dados e manuais. Nem todos os processos estão documentados.	Criar um programa de manutenção. Preparar a documentação de todos os processos, reunir todos os manuais e incorporá-los ao programa de manutenção.
15.7.1 A sustentabilidade do sistema	Este item trata de questões de manutenção que garantam um funcionamento satisfatório.	O veículo deve operar de 8:00 as 18:00, de segunda-feira a sexta-feira. Procedimentos de manutenção devem garantir este funcionamento.	Questões de sustentabilidade do sistema devem ser consideradas no plano de manutenção.
15.7.2 Plano de Manutenção	Um plano de manutenção deve abranger todo o sistema, subsistemas e equipamentos. O plano de manutenção deve seguir todas as recomendações da norma APM.	Não existe um plano de manutenção.	Criar um plano de manutenção.
15.7.3 Manuais de Manutenção	Manuais de manutenção devem ser fornecidos para todos os elementos do sistema. Estes manuais devem obedecer a recomendações da norma.	Não existem manuais de manutenção.	Criar manuais de manutenção.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
15.8 Treinamento	Deve haver treinamentos para o pessoal de operação e manutenção antes do inicio de operação com passageiros.	As equipes de desenvolvimento e posteriormente de manutenção estão em constante treinamento.	Treinar as equipes de acordo com requisitos previstos na norma APM.
15.8.1 Plano de treinamento	Este item trata dos itens que devem ser contemplados em um plano de treinamento.	Não existe um plano de treinamento.	Criar um plano de treinamento.
15.8.2 Instrutores de treinamento	Os instrutores devem possuir capacitação adequada.	Sempre se opta por instrutores capacitados quando se necessita de cursos.	Sempre optar por instrutores capacitados quando se necessitar de cursos.
15.8.3 Materiais de Treinamento	Este item trata da qualidade do material a ser distribuídos nos treinamentos.	Sempre se optou por treinamentos de qualidade, incluindo o material.	Sempre optar por treinamentos de qualidade e exigir material previsto na norma APM.
15.8.4 Formação Contínua	Deve-se promover treinamento continuado durante toda a vida do sistema.	Treinamento sobre demanda.	Promover treinamento programado.
15.8.5 Manuais de Formação	Item determina quais assuntos devem constar nos manuais de formação e impõe que manuais para equipamentos e subsistemas devem ser fornecidos para uso em treinamento e devem sempre estar atualizados.	Não existem manuais de formação.	Criar manuais de formação.
16 MONITORAMENTO OPERACIONAL	Um programa deve ser desenvolvido e implementado para monitorar a operação do sistema. Este programa deverá ser constituído pelos elementos das próximas seções.	-	-

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
16.1 Plano de monitoramento operacional do sistema	Um plano de monitoramento operacional será fornecido para documentar o programa de monitoramento operacional do sistema e identificar as atividades necessárias para implementar a programa. Este plano deve identificar os elementos do sistema a serem monitorados, as organizações responsáveis pelo monitoramento, e uma agenda de monitoramento.	Ainda não há um plano de monitoramento.	Criar um plano de monitoramento.
16.2 Auditoria interna anual de responsabilidades	Previsão de uma auditoria interna anual para verificar se o plano do programa de segurança está sendo atendido.	Ainda não há um plano de monitoramento.	Criar um plano de monitoramento e prever auditorias anuais.
16.2.1 Auditoria de responsabilidade	Os auditores de responsabilidades devem ser independentes dos responsáveis pelas implantações dos programas e atividades auditadas.	Ainda não há um plano de monitoramento.	Criar um plano de monitoramento e prever equipes independentes de auditoria e implantação.
16.2.2 Relatórios de auditoria	Os relatórios de auditoria devem ser criados para cada departamento e, a partir destes, gerado um relatório geral.	Ainda não há um plano de monitoramento. As equipes do LASUP e LabMaq possuem um número reduzido de colaboradores.	Estabelecer hierarquias e departamentos responsáveis pelos diversos setores do projeto (formação de equipes independentes e multitarefas).
16.2.3 Procedimentos de auditoria	Existem vários procedimentos para a realização das auditorias.	Ainda não há um plano de monitoramento.	Criar um plano de monitoramento contendo os procedimentos de auditoria.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
16.2.4 Elementos auditáveis	A norma prevê uma lista com o número mínimo de elementos que devem ser auditados.	Ainda não há um plano de monitoramento.	Criar um plano de monitoramento contendo os itens mais importantes além dos itens mínimos previstos em norma.
16.3 Avaliação de auditoria independente	Deve haver uma auditoria independente.	Necessidade da contratação de auditores independentes.	Contratar auditores independentes. É possível que estes auditores sejam os mesmos responsáveis pela certificação.
16.3.1 Requisitos de auditoria independente	O auditor não poderá ter nenhum vínculo com o projeto e deve ser capacitado a avaliar um sistema APM.	Necessidade da contratação de auditores independentes.	Contratar auditores independentes. É possível que estes auditores sejam os mesmos responsáveis pela certificação.
16.3.2 Requisitos de formação e experiência	Há uma lista de exigências que o auditor independente deve atender para se qualificar como auditor de um sistema APM.	Necessidade da contratação de auditores independentes qualificados de acordo com a norma APM.	Contratar auditores independentes. É possível que estes auditores sejam os mesmos responsáveis pela certificação.
16.3.3 Relatório de auditoria independente	O auditor independente deve relatar os resultados de acordo com modelos de relatórios de inspeções, testes e análises praticados no meio industrial.	Necessidade da contratação de auditores independentes.	Contratar auditores independentes. É possível que estes auditores sejam os mesmos responsáveis pela certificação.
16.4 Inspeções e testes	Um programa de inspeções e ensaios periódicos deve ser desenvolvido para instalações e equipamentos de segurança.	Não há um programa de inspeção.	Criar um programa de inspeção.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
16.4.1 Testes do fabricante	Os fabricantes de equipamentos usados no sistema devem desenvolver testes para comprovar se seus equipamentos atendem a norma APM.	Os componentes desenvolvidos para o MagLev-Cobra ainda não passaram pelas baterias de testes. Os componentes “de mercado” possuem certificações individuais.	No processo de certificação devem ser analisados os testes e certificados emitidos pelos fabricantes.
16.4.2 Critérios de teste de aceitação	Os critérios de testes de aceitação do sistema APM devem considerar a vida útil do mesmo, levando em consideração a manutenção recomendada e se os procedimentos de operação foram seguidos.	Não foram feitos testes de aceitação.	Fazer testes de aceitação durante o processo de certificação.
16.4.3 Procedimentos de testes	Os testes não devem ultrapassar as necessidades do sistema.	Não foram feitos testes do sistema.	Fazer testes do sistema durante o processo de certificação. E obedecer às necessidades máximas previstas.
16.4.3 Limites de testes operacionais	Testes operacionais do sistema APM serão realizados dentro dos limites nominais do equipamento, conforme fornecido pelo fabricante. Quaisquer testes operacionais, incluindo testes de carga, realizados em um sistema APM, não devem ser destrutivos.	Não foram feitos testes do sistema.	Fazer testes do sistema durante o processo de certificação. Não fazer testes destrutivos.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
16.5 Configuração de gestão	Para os itens críticos para a segurança, os fabricantes não devem fazer alterações nos equipamentos sem avisarem o proprietário ou o operador, nem o proprietário ou operador fazerem alterações nos equipamentos sem avisar o fabricante, para que o efeito da alteração possa ser adequadamente avaliado.	Ainda não há um plano de monitoramento.	Criar um plano de monitoramento contendo um item relacionado ao gerenciamento de alterações.
16.6 Coordenação interdepartamental e interinstitucional	Deve haver troca de informações de segurança entre as instituições e departamentos ligados ao projeto.	Atualmente conta com auxilio do setor de segurança patrimonial da COPPE.	Criar um vínculo com todos os setores ligados a segurança da COPPE.
16.7 Programa de segurança do funcionário	Um programa de segurança dos funcionários que incorpora leis locais, estaduais e federais deve ser estabelecido. O programa de segurança do empregado deve incluir uma análise de risco e elaboração de relatórios de lesões para fornecer o desenvolvimento de ações corretivas.	Atualmente o projeto conta com poucos funcionários. A maioria dos colaboradores são professores, alunos e voluntários de outras instituições. Os contratos obedecem todas as normas trabalhistas. Há a previsão de que o METRÔ RIO ceda operadores para o projeto em forma de cooperação.	Elaborar procedimentos de segurança específicos para os funcionários.

Automated People Mover Standard (ASCE, 2013a)			
Item da norma	Assunto abordado	Abordagem atual no MagLev-Cobra	Adequação necessária
16.8 Programa para materiais perigosos	Devem ser implementados programas para tratamento de materiais perigosos.	Além dos materiais típicos de veículos elétricos, o MagLev-Cobra conta com o trilho de ímãs e com o abastecimento de LN_2, ambos potencialmente perigosos, o primeiro, por risco de atrair partes metálicas podendo provocar esmagamentos, o segundo, por risco de contato direto provocando queimaduras.	Prever procedimentos específicos para os materiais perigosos no plano de segurança.
16.9 Programas contra o abuso de álcool e de drogas	Um programa documentado de abuso de álcool e drogas deve estar no local e obedecer normas locais, estaduais e federais.	Não há um programa para os colaboradores.	Verificar se há um programa contra o abuso de álcool e drogas na UFRJ e associar os colaboradores.
16.10 Segurança de terceirizados	Colaboradores terceirizados devem estar sob os mesmos procedimentos de segurança dos demais.	Não há um programa para os colaboradores terceirizados.	Prever que terceirizados sejam tratados da mesma forma e com os mesmos treinamentos dos colaboradores do projeto.
16.11 Aquisição	Os procedimentos para compra de materiais e equipamentos devem impedir a aquisição de itens deficientes e defeituosos.	Os processos de compra obedecem às especificações técnicas dos solicitantes. As aquisições passam por procedimentos de compras padrões da UFRJ e da fundação COPPETEC.	Fazer especificações que direcionem para materiais de boa qualidade e prever procedimentos de recusa de itens inadequados.

Apêndice C Detalhamento do posicionamento de sensores e atuadores

Neste apêndice estão as plantas dos quatro módulos do MagLev-Cobra. Nelas estão posicionados os sensores e atuadores principais para a operação segura do veículo. Nota-se que vários componentes são distribuídos igualmente pelos quatro módulos, como, por exemplo, os sensores de temperatura, de altura, as válvulas solenoide e os criostatos. Outros componentes de maior porte, como inversores, baterias, PLCs, IHMs e motores, estão posicionados nas extremidades do veículo. Nos módulos centrais estão os freios mecânicos e os sistemas de acionamento de portas.

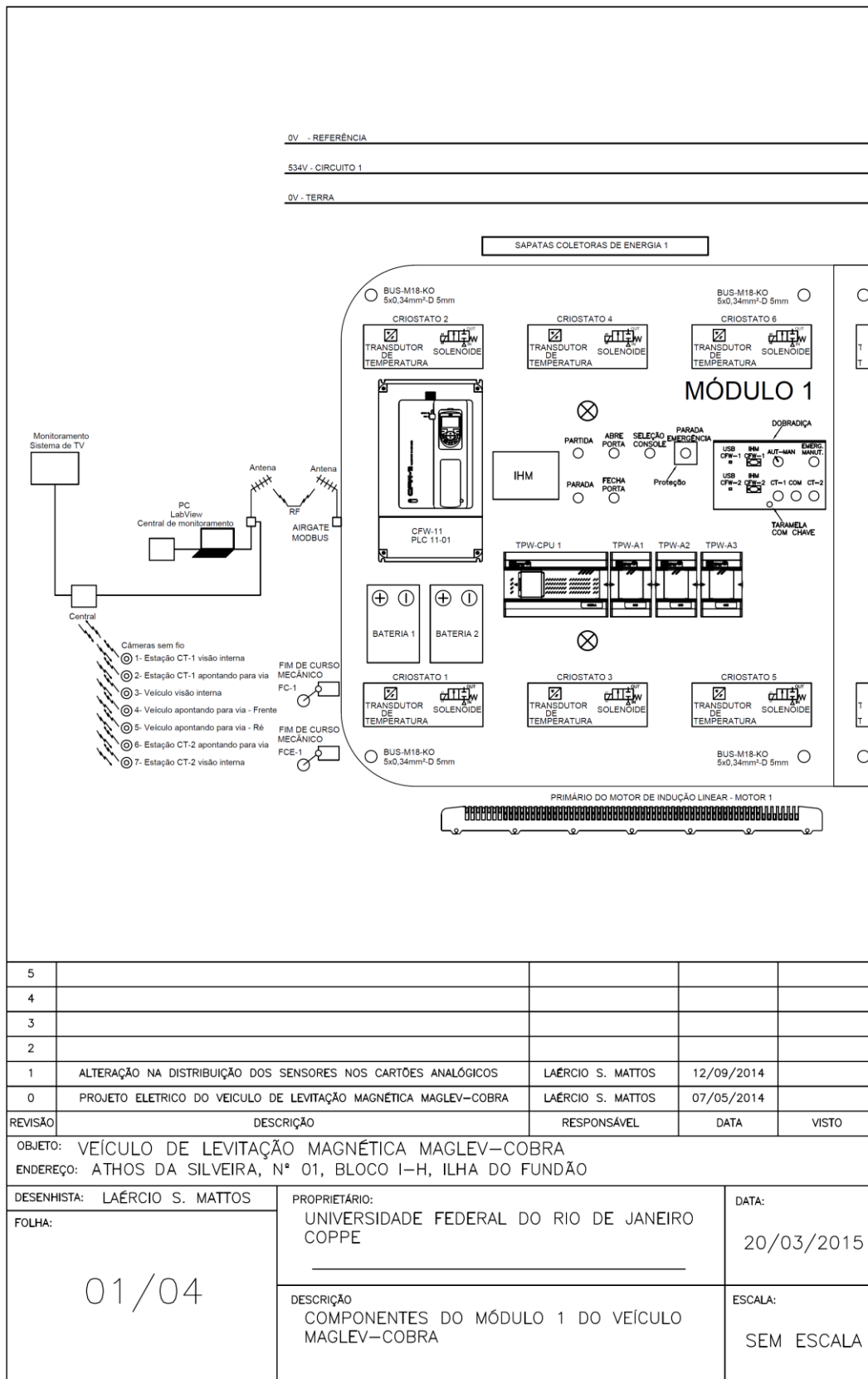



Figura C.1 – Detalhe do posicionamentos dos dispositivos elétricos no módulo 1 do veículo MagLev-Cobra.

REVISÃO	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL	DATA	VISTO
5				
4				
3				
2				
1	ALTERAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DOS SENSORES NOS CARTÕES ANALÓGICOS	LAÉRCIO S. MATTOS	12/09/2014	
0	PROJETO ELETRICO DO VEICULO DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA MAGLEV-COBRA	LAÉRCIO S. MATTOS	07/05/2014	

OBJETO: VEÍCULO DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA MAGLEV-COBRA

ENDEREÇO: ATHOS DA SILVEIRA, Nº 01, BLOCO I-H, ILHA DO FUNDÃO

DESENHISTA: LAÉRCIO S. MATTOS

PROPRIETÁRIO: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COPPE

DATA: 20/03/2015

FOLHA: 02/04

DESCRIÇÃO: COMPONENTES DO MÓDULO 2 DO VEÍCULO MAGLEV-COBRA

ESCALA: SEM ESCALA

Figura C.2 – Detalhe do posicionamentos dos dispositivos elétricos no módulo 2 do veículo MagLev-Cobra.

REVISÃO	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL	DATA	VISTO
5				
4				
3				
2				
1	ALTERAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DOS SENSORES NOS CARTÕES ANALÓGICOS	LAÉRCIO S. MATTOS	12/09/2014	
0	PROJETO ELETRICO DO VEICULO DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA MAGLEV-COBRA	LAÉRCIO S. MATTOS	07/05/2014	

OBJETO: VEÍCULO DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA MAGLEV-COBRA
ENDEREÇO: ATHOS DA SILVEIRA, Nº 01, BLOCO I-H, ILHA DO FUNDÃO

DESENHISTA: LAÉRCIO S. MATTOS	PROPRIETÁRIO: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COPPE	DATA: 20/03/2015
FOLHA: 03/04	DESCRIÇÃO: COMPONENTES DO MÓDULO 3 DO VEÍCULO MAGLEV-COBRA	ESCALA: SEM ESCALA

Figura C.3 – Detalhe do posicionamentos dos dispositivos elétricos no módulo 3 do veículo MagLev-Cobra.

REVISÃO	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL	DATA	VISTO
5				
4				
3				
2				
1	ALTERAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DOS SENSORES NOS CARTÕES ANALÓGICOS	LAÉRCIO S. MATTOS	12/09/2014	
0	PROJETO ELETRICO DO VEICULO DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA MAGLEV–COBRA	LAÉRCIO S. MATTOS	07/05/2014	

OBJETO: VEÍCULO DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA MAGLEV–COBRA
ENDEREÇO: ATHOS DA SILVEIRA, Nº 01, BLOCO I–H, ILHA DO FUNDÃO

DESENHISTA: LAÉRCIO S. MATTOS
FOLHA: 04/04
PROPRIETÁRIO: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COPPE
DATA: 20/03/2015
DESCRIÇÃO: COMPONENTES DO MÓDULO 4 DO VEÍCULO MAGLEV–COBRA
ESCALA: SEM ESCALA

Figura C.4 – Detalhe do posicionamentos dos dispositivos elétricos no módulo 4 do veículo MagLev-Cobra.

Apêndice D Projeto elétrico do veículo (sensores e atuadores)

A norma APM exige que toda a fiação seja identificada obedecendo a um projeto elétrico. Este apêndice traz o projeto elétrico idealizado para o MagLev-Cobra. O projeto original encontra-se em folha A1. Neste apêndice o mesmo foi desmembrado em 24 partes conforme exemplificado na miniatura das três folhas A1.

Figura D.1 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra em folha A1 parte 1/3.

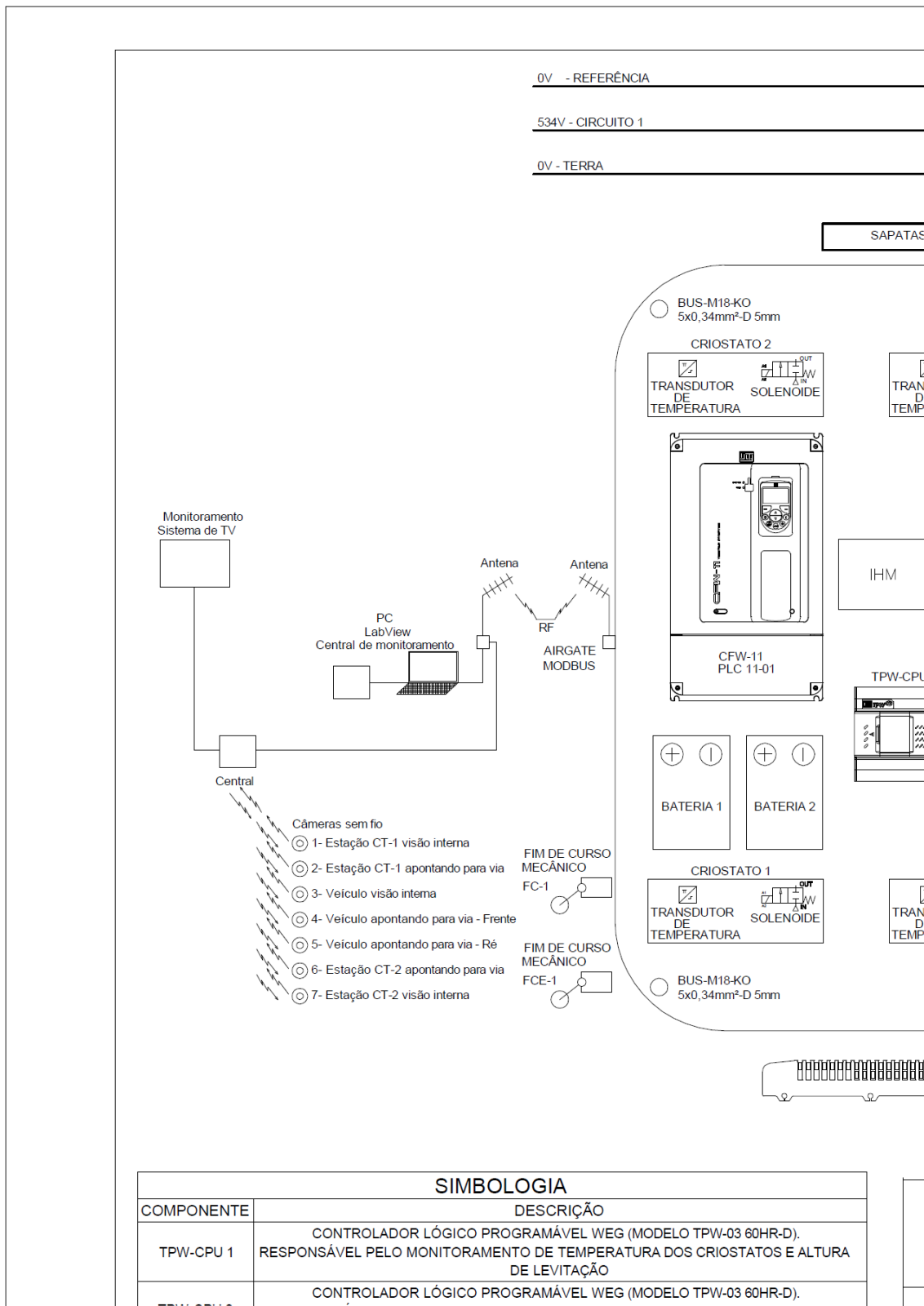



Figura D.2 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 1).

CONS.-x	DISPOSITIVO OPERADO POR "TRANCAMENTO E DESTRANCAMENTO" DO CONSOLE DE COMANDOS(MODELO XXXXXX) OBS.: OS CONSOLES ESTÃO INERTRAVADOS POR CONTATO FÍSICO. SÓ OPERAM INDIVIDUALMENTE. CASO OS DOIS ESTEJAM ACIONADOS SIMULTANEAMENTE O VEÍCULO NÃO IRÁ OPERAR E UM ALARME INDICANDO ESTA CONDIÇÃO DEVERÁ SOAR NA IHM. LOCALIZADO NO CONSOLE DE COMANDOS
EM243-x	DRIVER PARA MOTORES DE PORTA(MODELO EM243A 12-43V 50A).

Figura D.3 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 2).

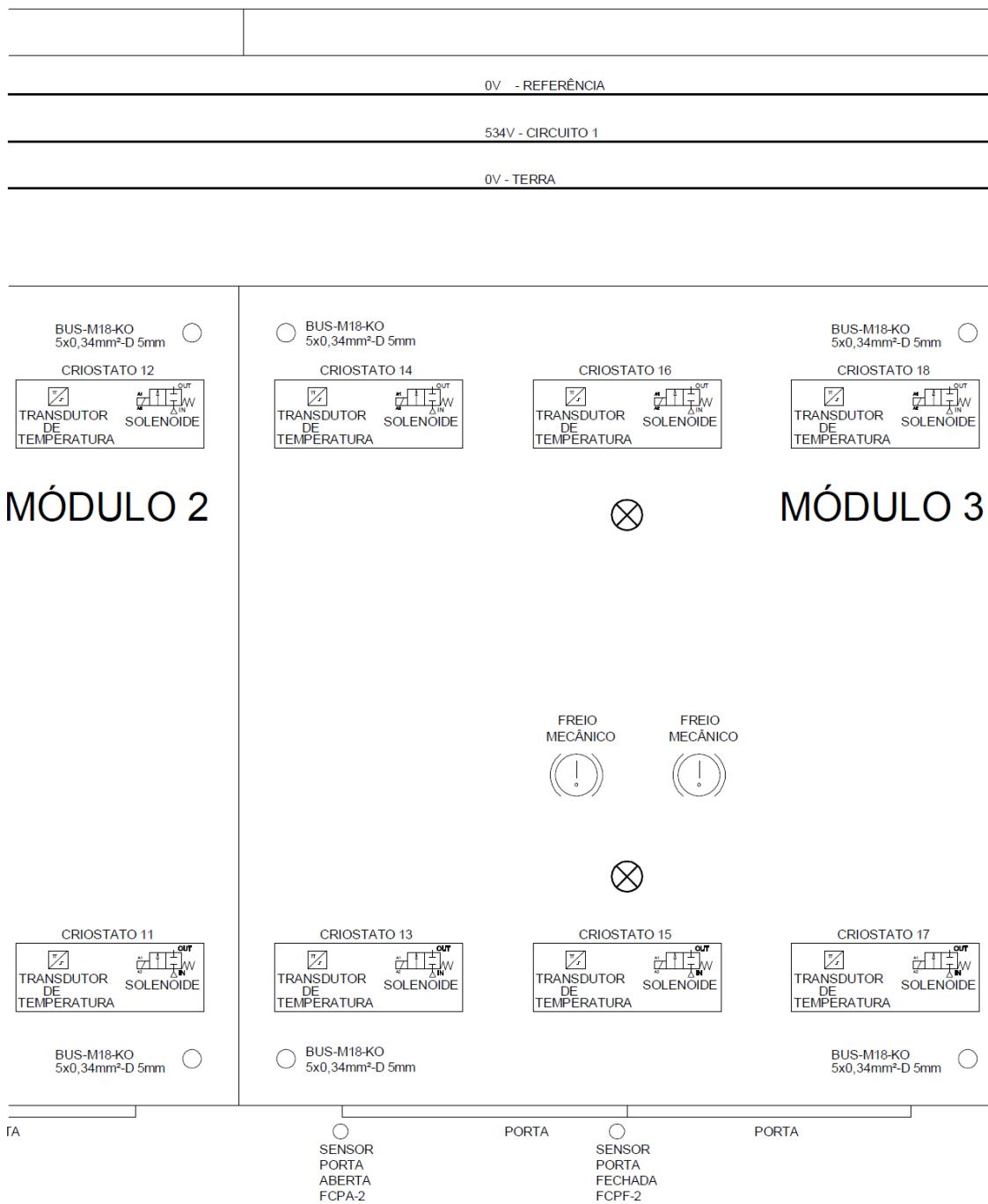



Figura D.4 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 3).

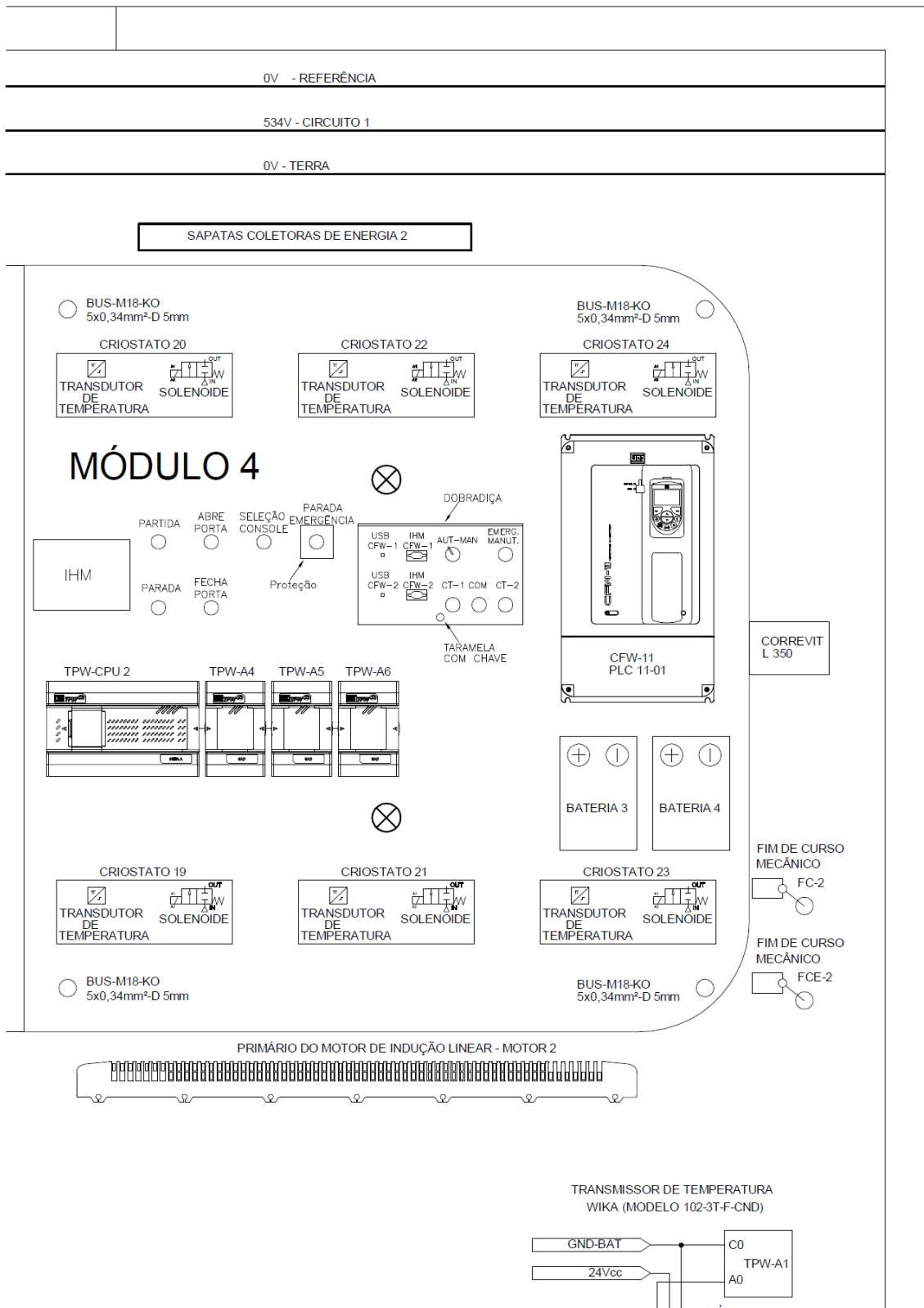



Figura D.5 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 4).

TPW-CPU 2	RESPONSAVEL PELO MONITORAMENTO DOS COMANDOS DO OPERADOR E FINS DE CURSO.
TPW-A1 ATÉ TPW-A3	CARTÕES DE ENTRADAS ANLÓGICAS WEG (MODELO TPW-03 8AD) LEITURA DE TEMPERATURA DOS CRIOSTATOS
TPW-A4 E TPW-A5	CARTÕES DE ENTRADAS ANLÓGICAS WEG (MODELO TPW-03 8AD) LEITURA DOS SENSORES DE ALTURA DE LEVITAÇÃO
TT-xx	TRANSMISSOR DE TEMPERATURA WIKA (MODELO 102-3T-F-CND)
VS-xx	VÁLVULA SOLENOIDE NORMALMENTE FECHADA ASCO (MODELO 8263-205LT)
TERM-xx	TERMOPAR TIPO "T"
SU-xx	SENSOR DE DISTÂNCIA ULTRASSÔNICO (MODELO BUS M18K0-XAER-040-S92K)
FC-x	FIM DE CURSO MECÂNICO(MODELO XXXXXXX)
FCE-x	FIM DE CURSO MECÂNICO DE EMERGÊNCIA(MODELO XXXXXXX)
0V-REFERÊN.	TENSÃO DE REFERÊNCIA DO BARRAMENTO CC
534V-CIRC.1	CIRCUITO 1 DO BARRAMENTO CC - 534VCC
534V-CIRC.2	CIRCUITO 2 DO BARRAMENTO CC - 534VCC
CFW-1	INVERSOR DE FREQUÊNCIA DO MOTOR LINEAR 1 (MODELO CFW11)
CFW-2	INVERSOR DE FREQUÊNCIA DO MOTOR LINEAR 2 (MODELO CFW11)
PLC-1	MÓDULO PLC INTEGRADO AO CFW-1 (MODELO CFW11-02)
PLC-2	MÓDULO PLC INTEGRADO AO CFW-2 (MODELO CFW11-02)
MOTOR 1	MOTOR LINEAR DE INDUÇÃO 1 (FABRICAÇÃO EQUACIONAL) INSTALADO NO MÓDULO 1
MOTOR 2	MOTOR LINEAR DE INDUÇÃO 2 (FABRICAÇÃO EQUACIONAL) INSTALADO NO MÓDULO 4
FCPA-x	FIM DE CURSO DE PORTA ABERTA (MODELO XXXXXXX)
FCPF-x	FIM DE CURSO DE PORTA FECHADA (MODELO XXXXXXX)
24Vcc	TENSÃO DE 24V EM CORRENTE CONTÍNUA VISDA DO BANCO DE BATERIAS
PART-x	BOTÃO PARA DAR PARTIDA AO VEÍCULO (MODELO XXXXXXX) LOCALIZADO NO CONSOLE DE COMANDOS
PARA-x	BOTÃO PARA PARAR O VEÍCULO (MODELO XXXXXXX) LOCALIZADO NO CONSOLE DE COMANDOS
ABRE-x	BOTÃO PARA ABERTURA DE PORTAS (MODELO XXXXXXX) LOCALIZADO NO CONSOLE DE COMANDOS
FECH-x	BOTÃO PARA FECHAMENTO DE PORTAS (MODELO XXXXXXX) LOCALIZADO NO CONSOLE DE COMANDOS
EMER1-x	BOTÃO DE EMERGÊNCIA DO OPERADOR (MODELO XXXXXXX) LOCALIZADO NO CONSOLE DE COMANDOS
EMER2-x	BOTÃO DE EMERGÊNCIA DA MANUTENÇÃO (PERMITE ALGUNS COMANDOS) (MODELO XXXXXXX) LOCALIZADO NO CONSOLE DE COMANDOS
AM-x	CHAVE SELETORA ENTRE OS COMANDOS AUTOMÁTICO E MANUAL (MODELO XXXXXXX) LOCALIZADO NO CONSOLE DE COMANDOS
COM-x	BOTÃO "COMUM", TEM A FUNÇÃO DE EXIGIR DUPLO COMANDO PARA OPERAÇÃO DO VEÍCULO (MODELO XXXXXXX) LOCALIZADO NO CONSOLE DE COMANDOS
DIR.CT1-x	BOTÃO DE OPERAÇÃO DO VEÍCULO EM MODO MANUAL NA DIREÇÃO CT1(SEU ACIONAMENTO ESTÁ ASSOCIADO AO ACIONAMENTO DO BOTÃO COM-x)(MODELO XXXXXXX) LOCALIZADO NO CONSOLE DE COMANDOS
DIR. CT2-x	BOTÃO DE OPERAÇÃO DO VEÍCULO EM MODO MANUAL NA DIREÇÃO CT1(SEU ACIONAMENTO ESTÁ ASSOCIADO AO ACIONAMENTO DO BOTÃO COM-x)(MODELO XXXXXXX) LOCALIZADO NO CONSOLE DE COMANDOS

APOIO:

Figura D.6 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 5).

LM245-x	RESPONSÁVEL PELO COMANDO DE DOIS MOTORES DE PORTA EM PARALELO.
IHM-x	INTERFACE HOMEM MÁQUINA DE TELA SENSÍVEL AO TOQUE (IHM-1 E IHM-2 - MODELO XXXXX) (IHM-3 MODELO DELTA DOP-B10S615) RESPONSÁVEIS POR MONITORAMENTO, INTERFACE COM USUÁRIO E COMANDOS NÃO OPERACIONAIS.

Figura D.7 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 6).

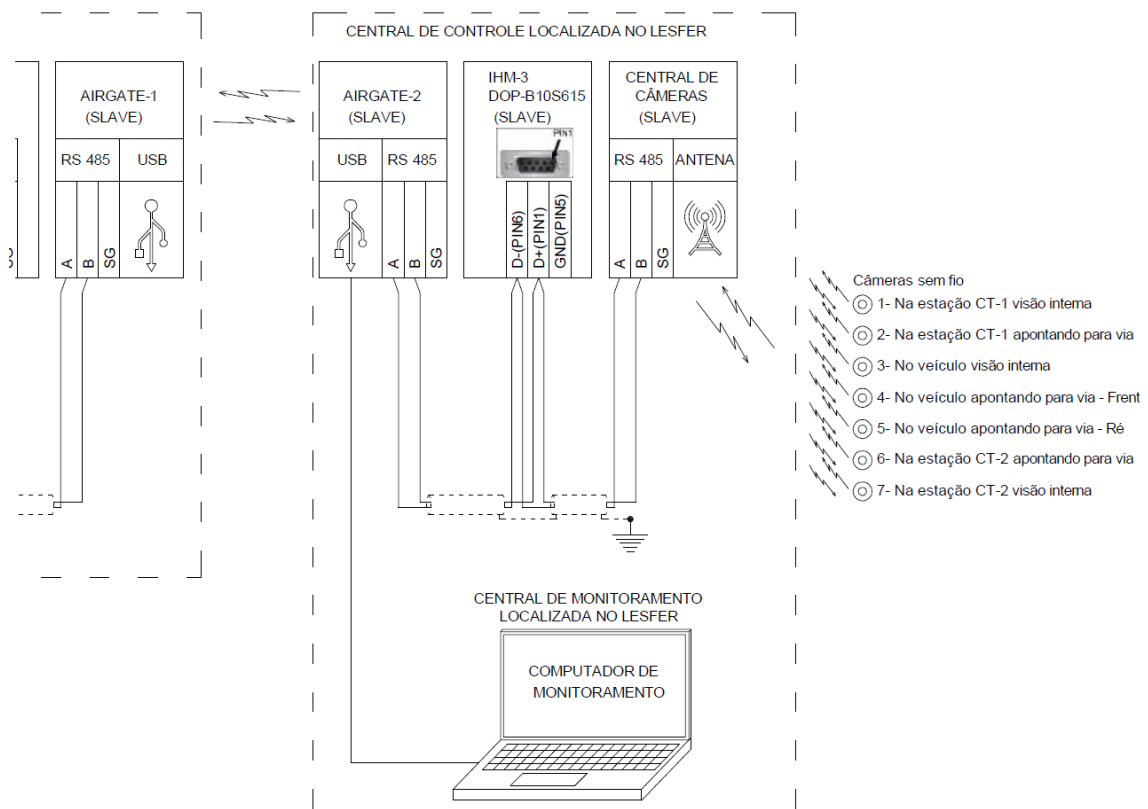



Figura D.8 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 7).

REVISÃO	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL	DATA	VISTO
5				
4				
3				
2				
1	ALTERAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DOS SENSORES NOS CARTÕES ANALÓGICOS	LAÉRCIO S. MATTOS	12/09/2014	
0	PROJETO ELETRICO DO VEICULO DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA MAGLEV–COBRA	LAÉRCIO S. MATTOS	07/05/2014	

OBJETO: VEÍCULO DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA MAGLEV–COBRA
ENDEREÇO: XXXXXXXXXX

DESENHISTA: LAÉRCIO S. MATTOS
FOLHA: 01/03
PROPRIETÁRIO: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COPPE
DATA: 03/10/2013
RESPONSÁVEL TÉCNICO: ?????????????????????????????????? ENGENHEIRO ELETRICISTA C.R.E.A. ????/D MG
ESCALA: SEM ESCALA

Figura D.9 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 8).

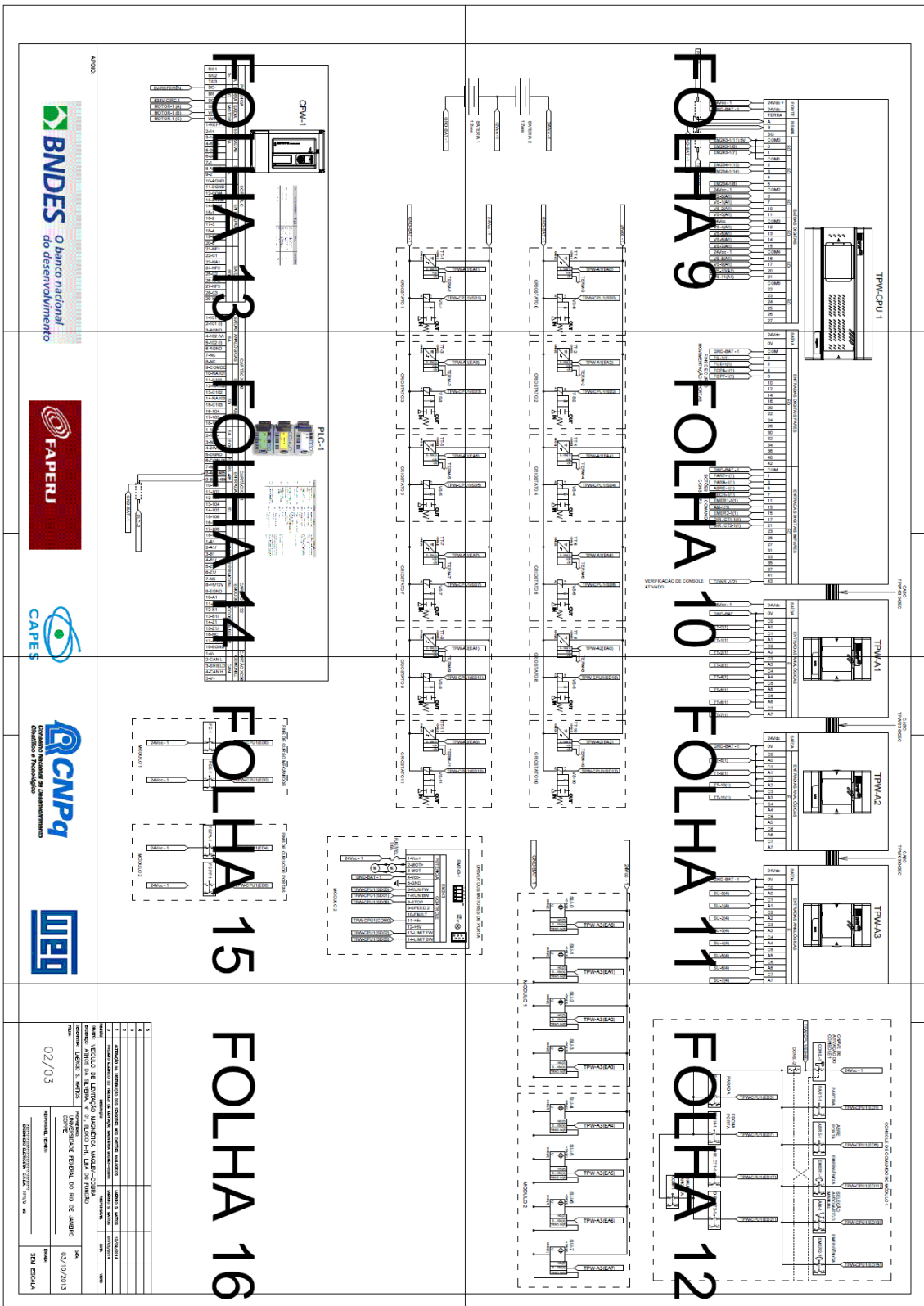



Figura D.10 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra em folha A1 parte 2/3.

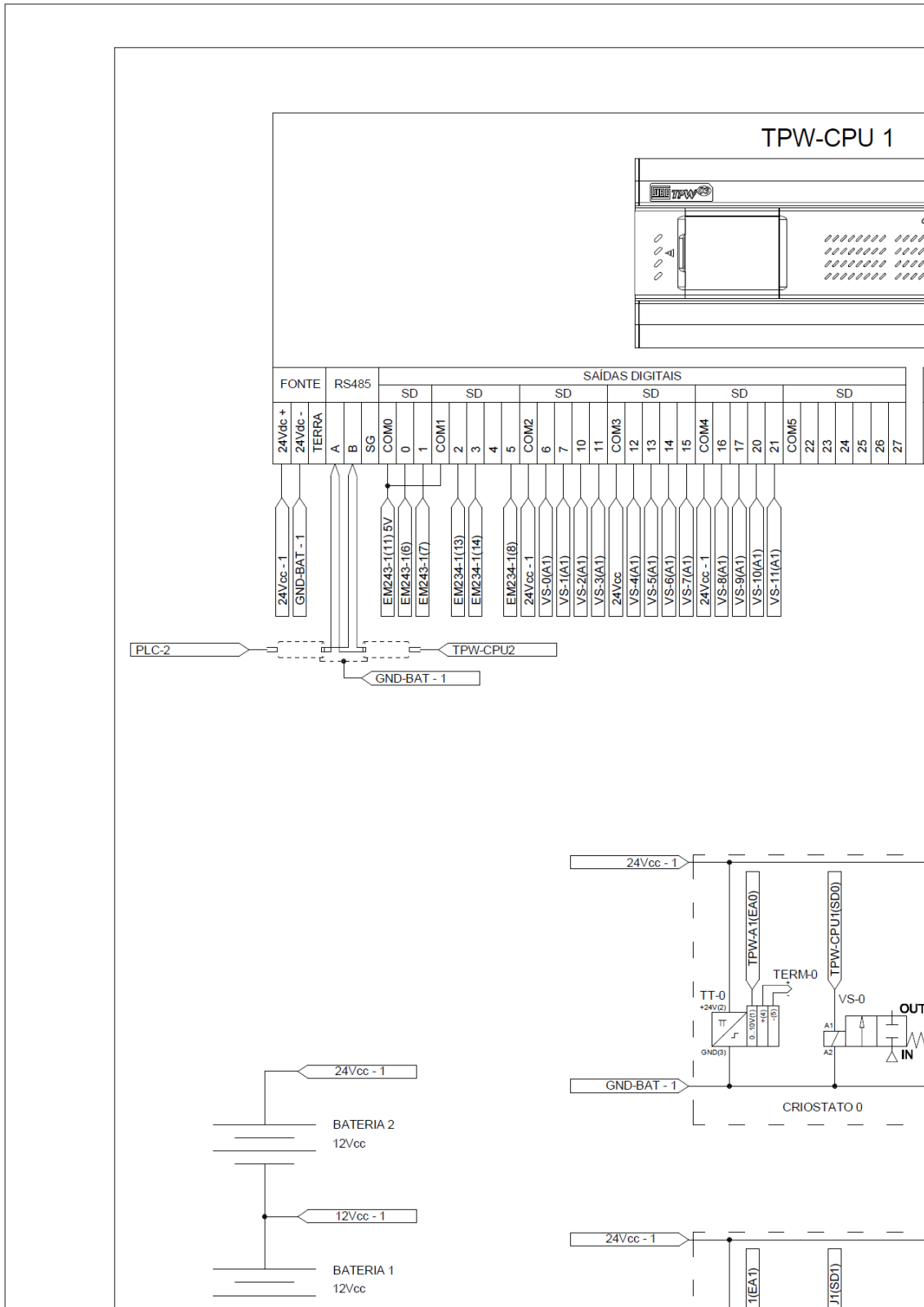



Figura D.11 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 9).

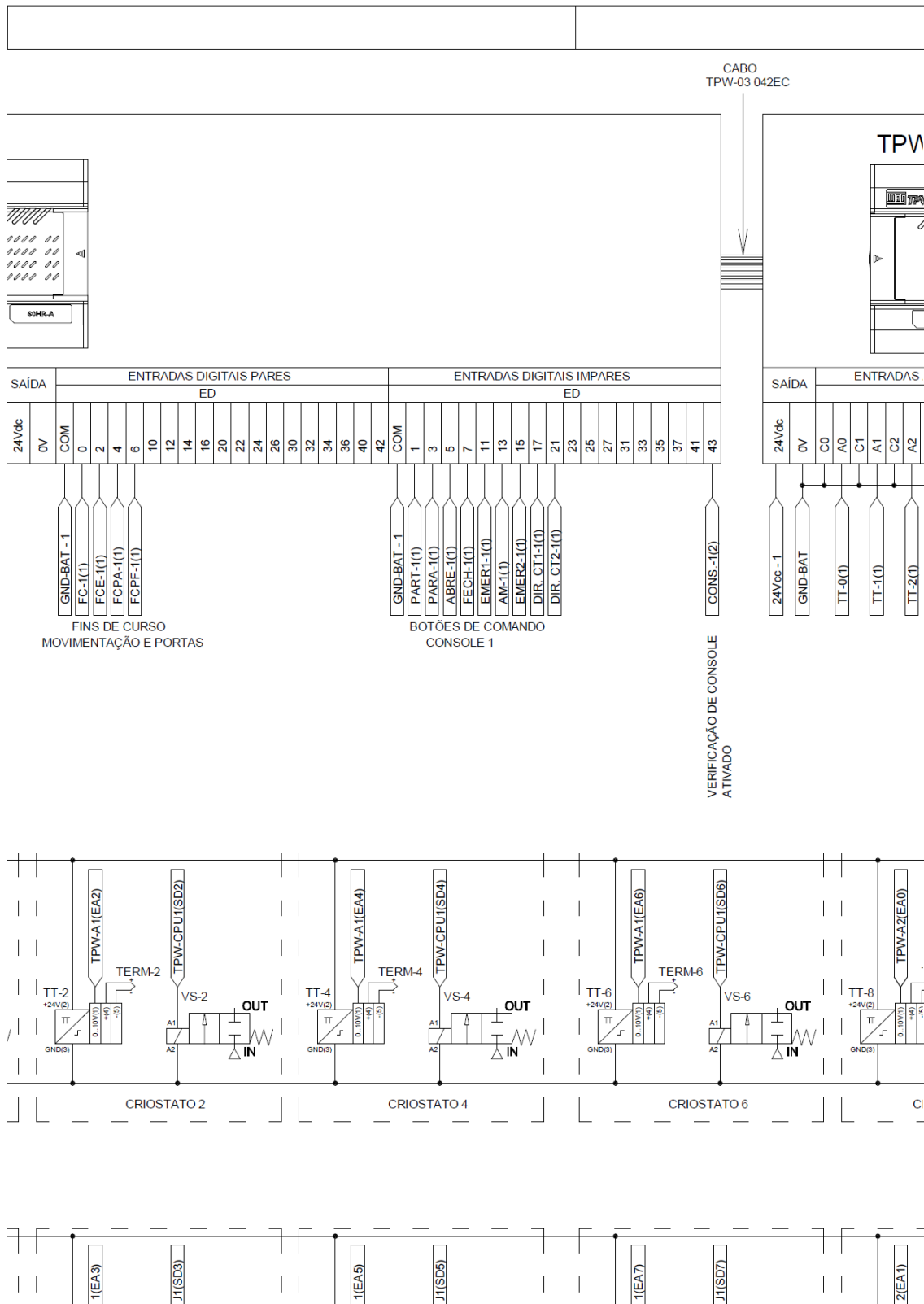



Figura D.12 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 10).

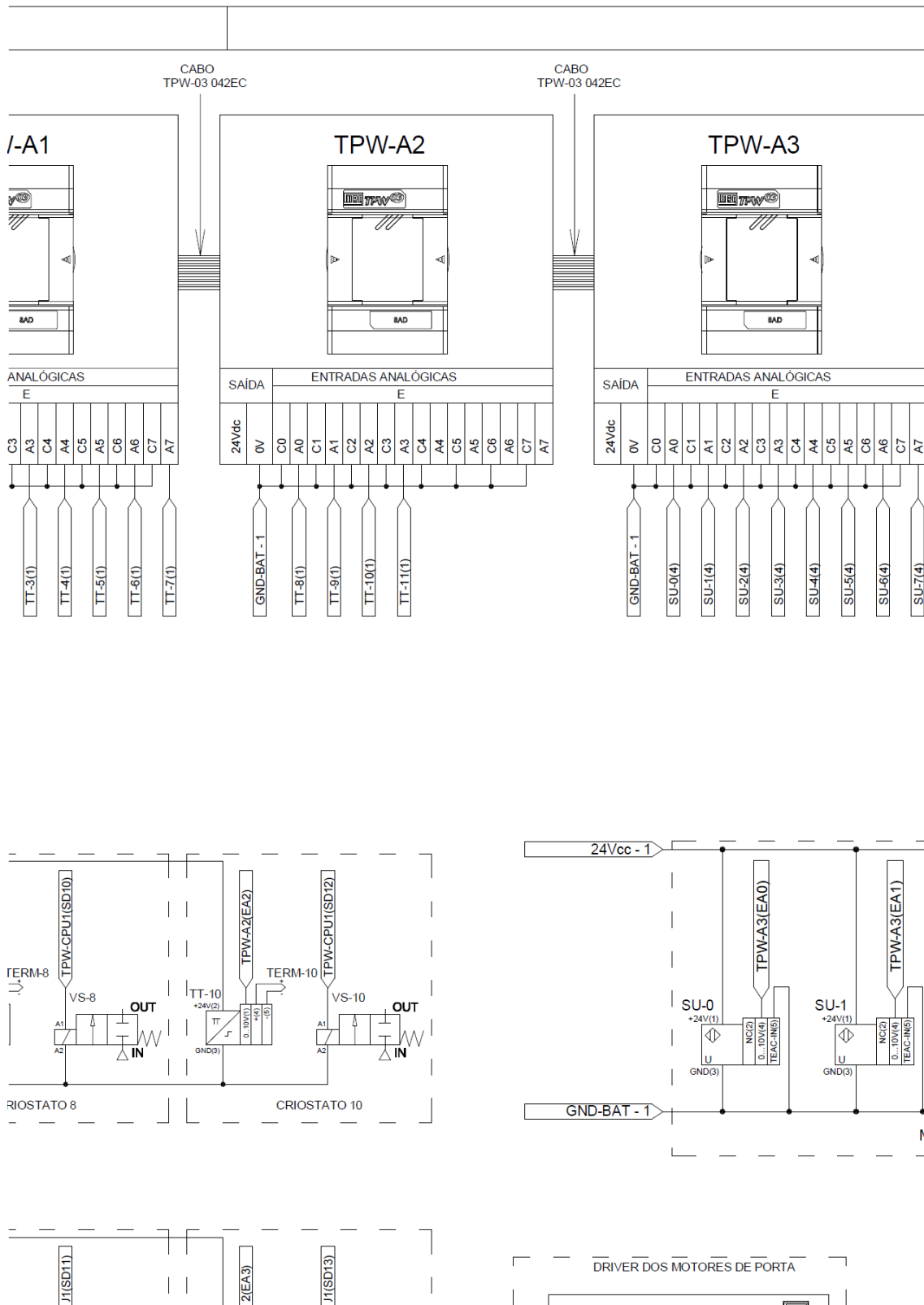



Figura D.13 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 11).

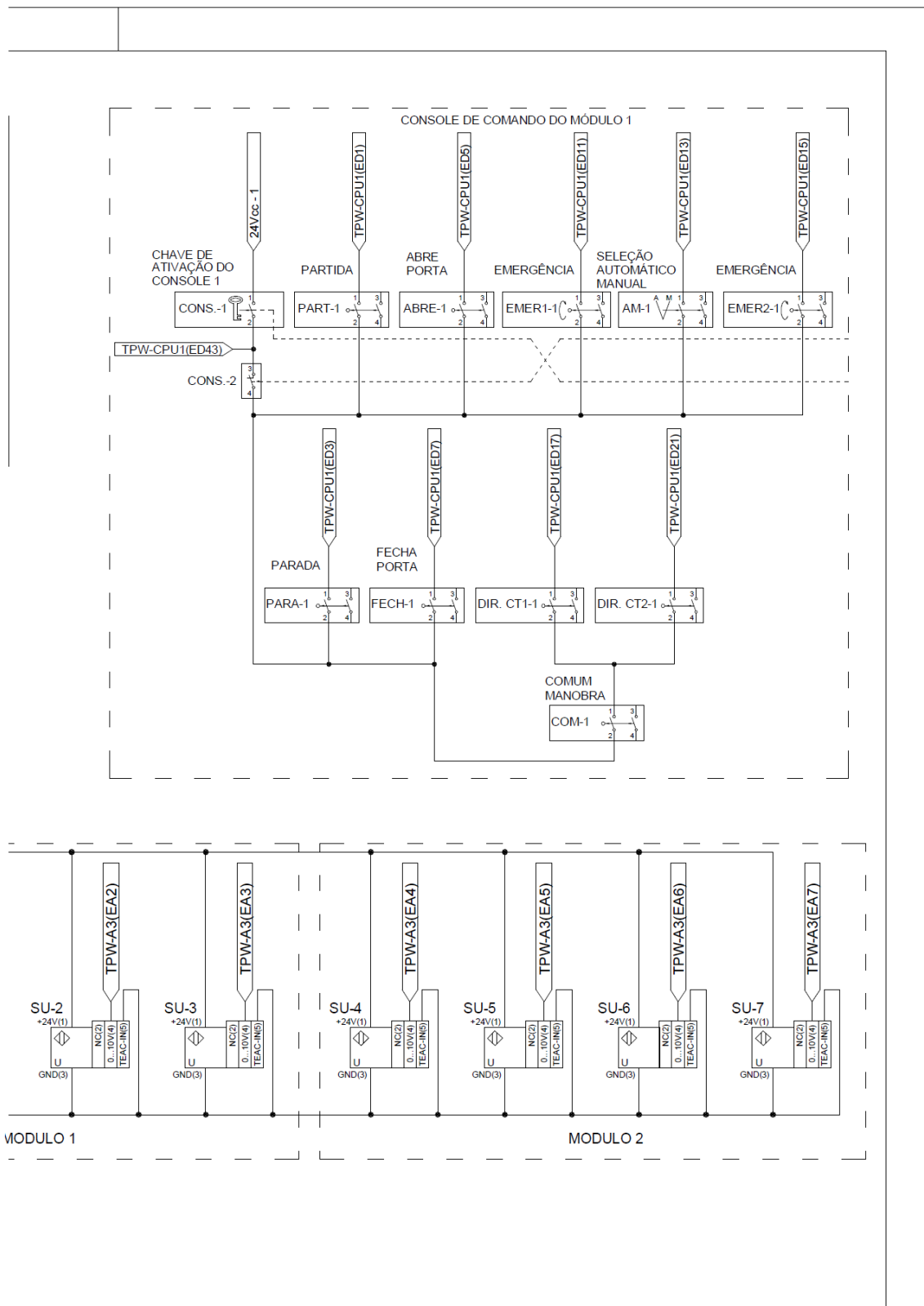



Figura D.14 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 12).

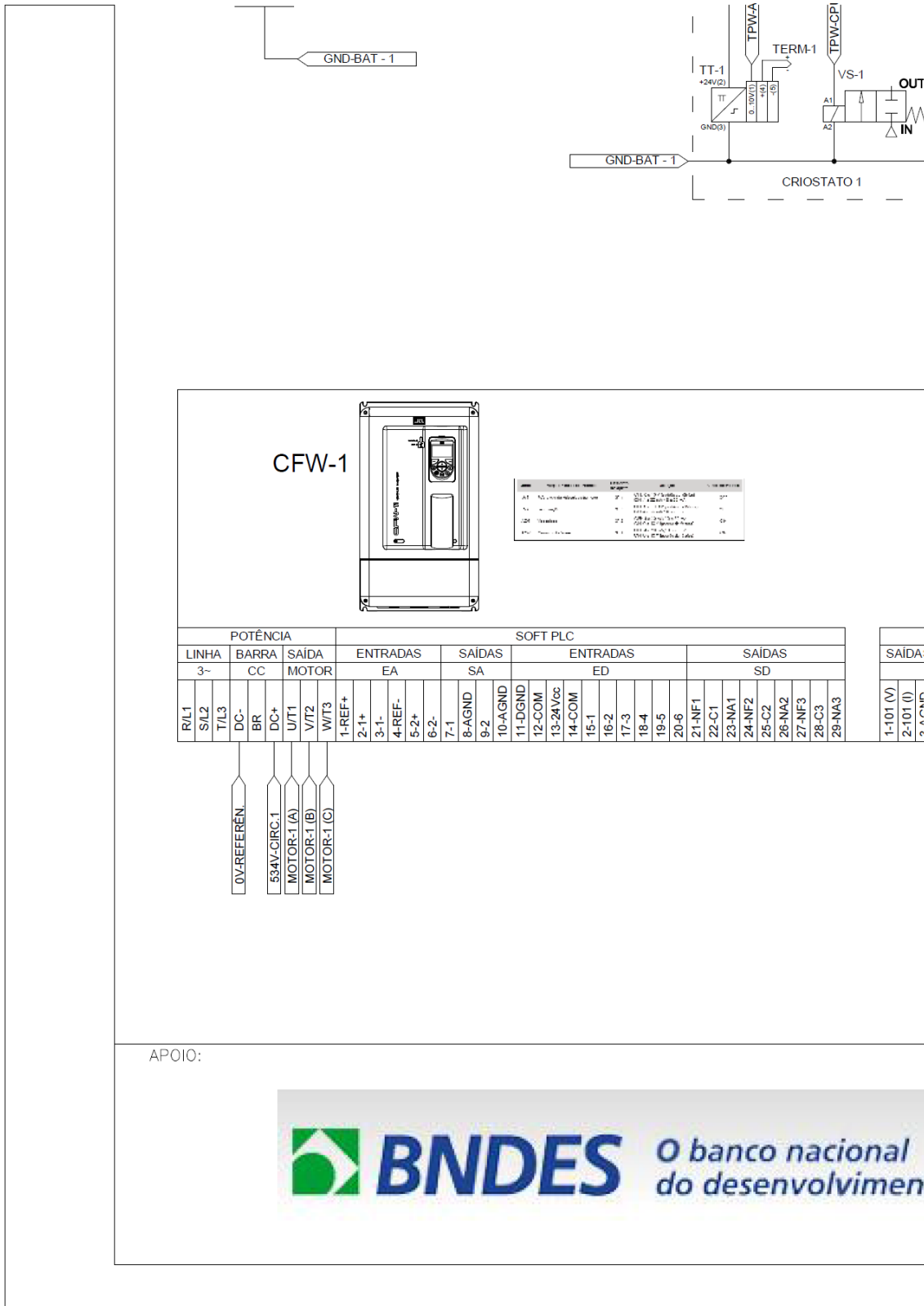



Figura D.15 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 13).

Figura D.16 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 14).

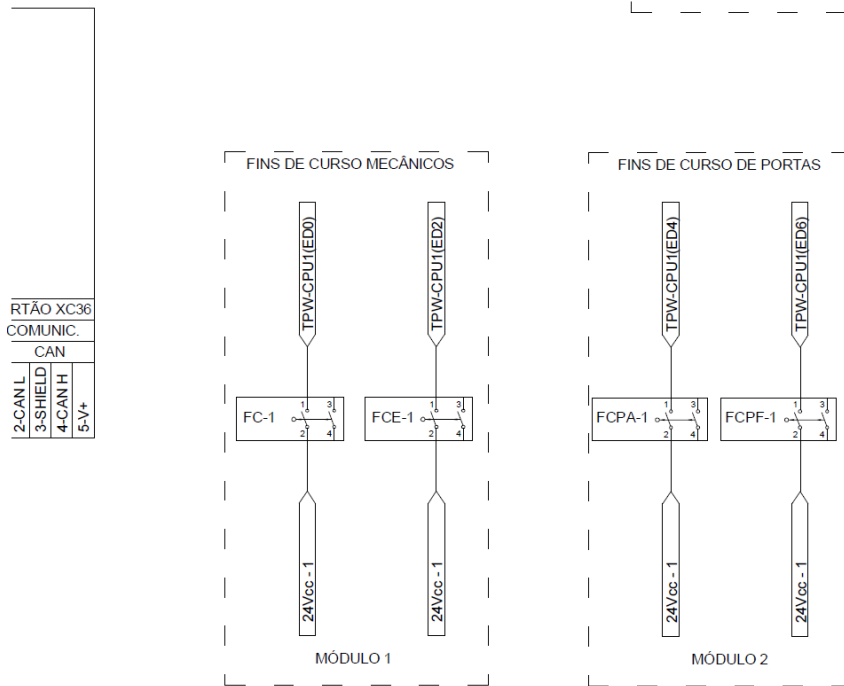
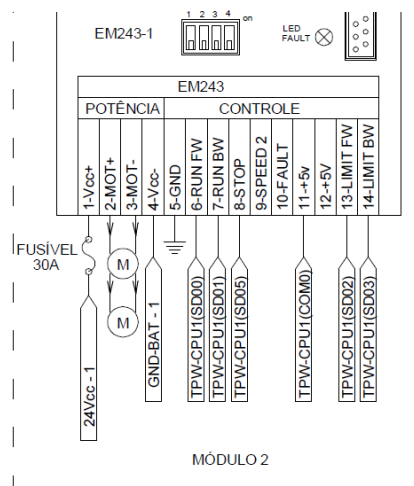
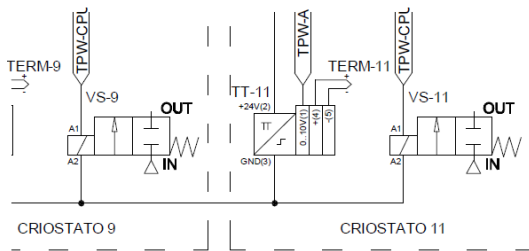



Figura D.17 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 15).

REVISÃO	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL	DATA	VISTO
5				
4				
3				
2				
1	ALTERAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DOS SENSORES NOS CARTÕES ANALÓGICOS	LAÉRCIO S. MATTOS	12/09/2014	
0	PROJETO ELETRICO DO VEICULO DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA MAGLEV–COBRA	LAÉRCIO S. MATTOS	07/05/2014	

OBJETO: VEÍCULO DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA MAGLEV–COBRA
ENDEREÇO: ATHOS DA SILVEIRA, Nº 01, BLOCO I–H, ILHA DO FUNDÃO

DESENHISTA: LAÉRCIO S. MATTOS
FOLHA: 02/03

PROPRIETÁRIO: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
COPPE

DATA: 03/10/2013

RESPONSÁVEL TÉCNICO:
???????????????????????????????????
ENGENHEIRO ELETRICISTA C.R.E.A. ????/D MG

ESCALA: SEM ESCALA

Figura D.18 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 16).

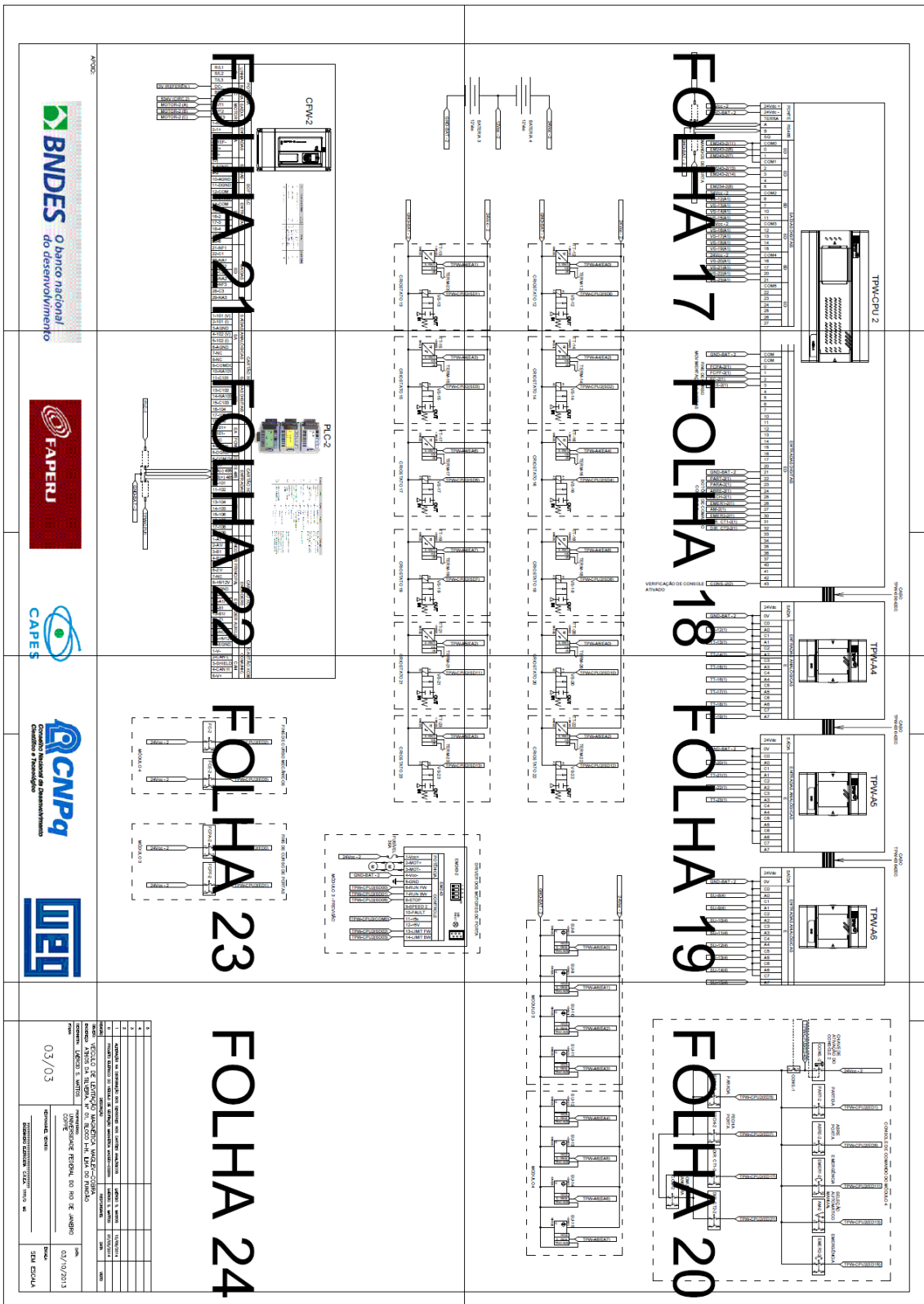



Figura D.19 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra em folha A1 parte 3/3.

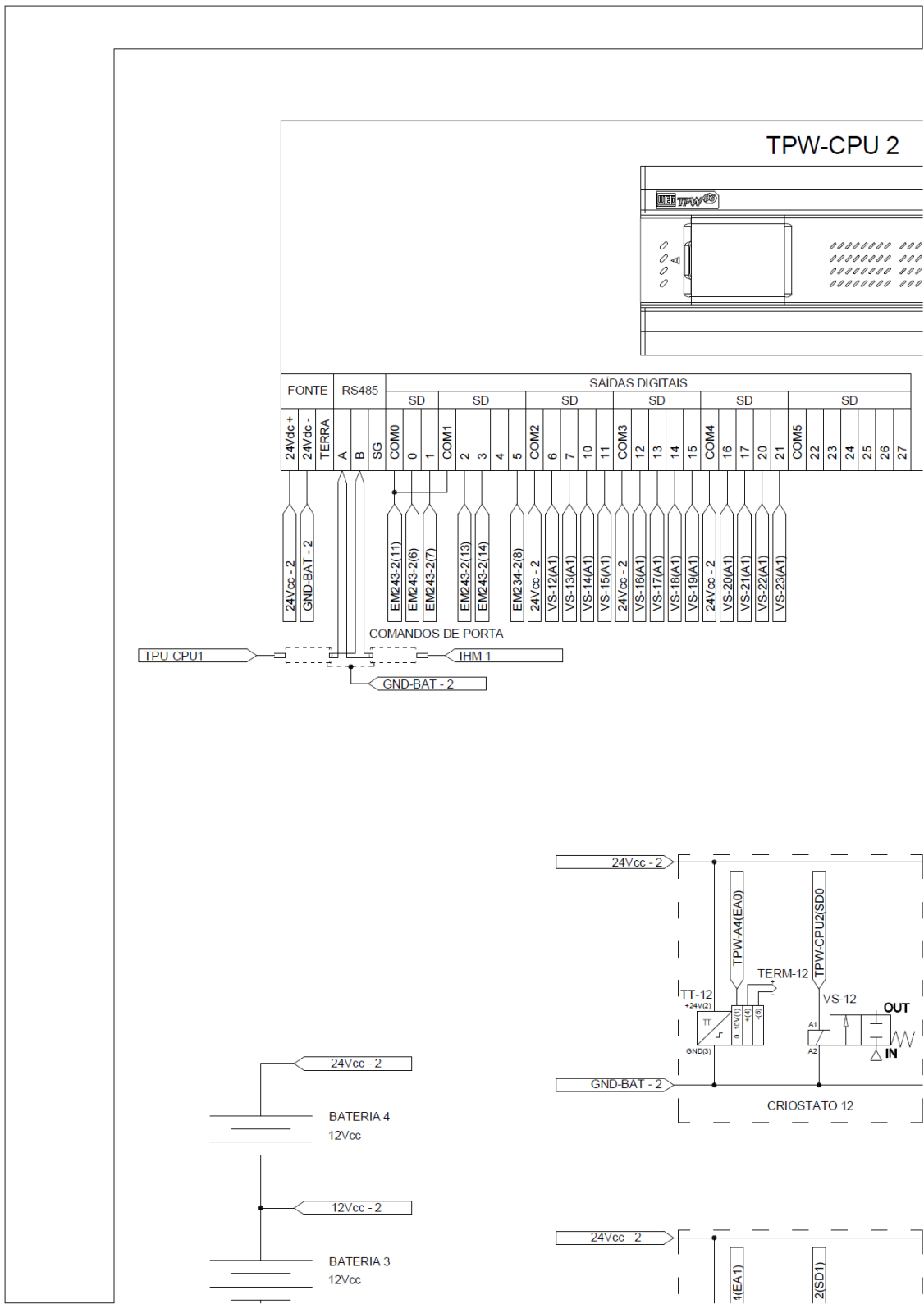



Figura D.20 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 17).

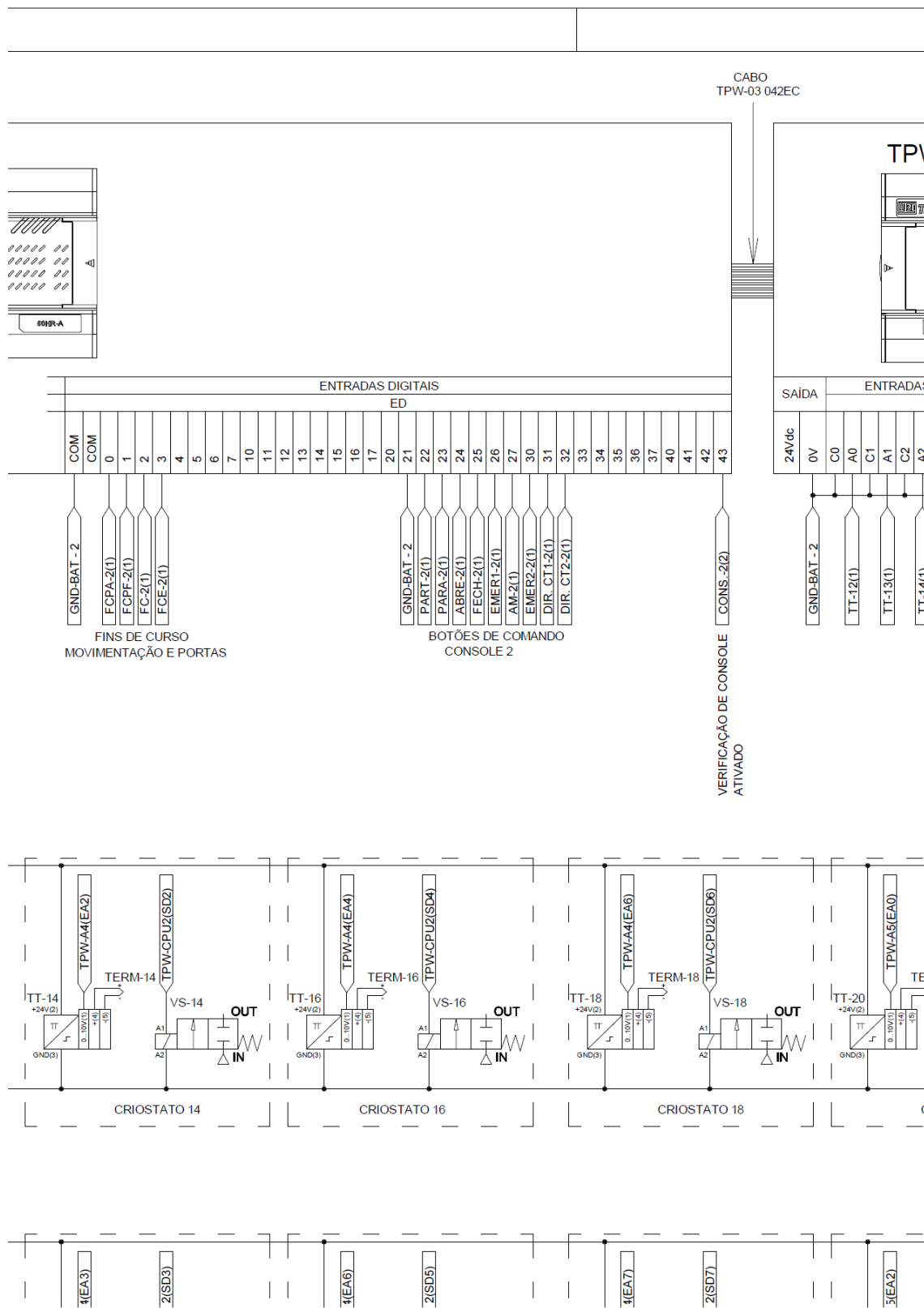



Figura D.21 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 18).

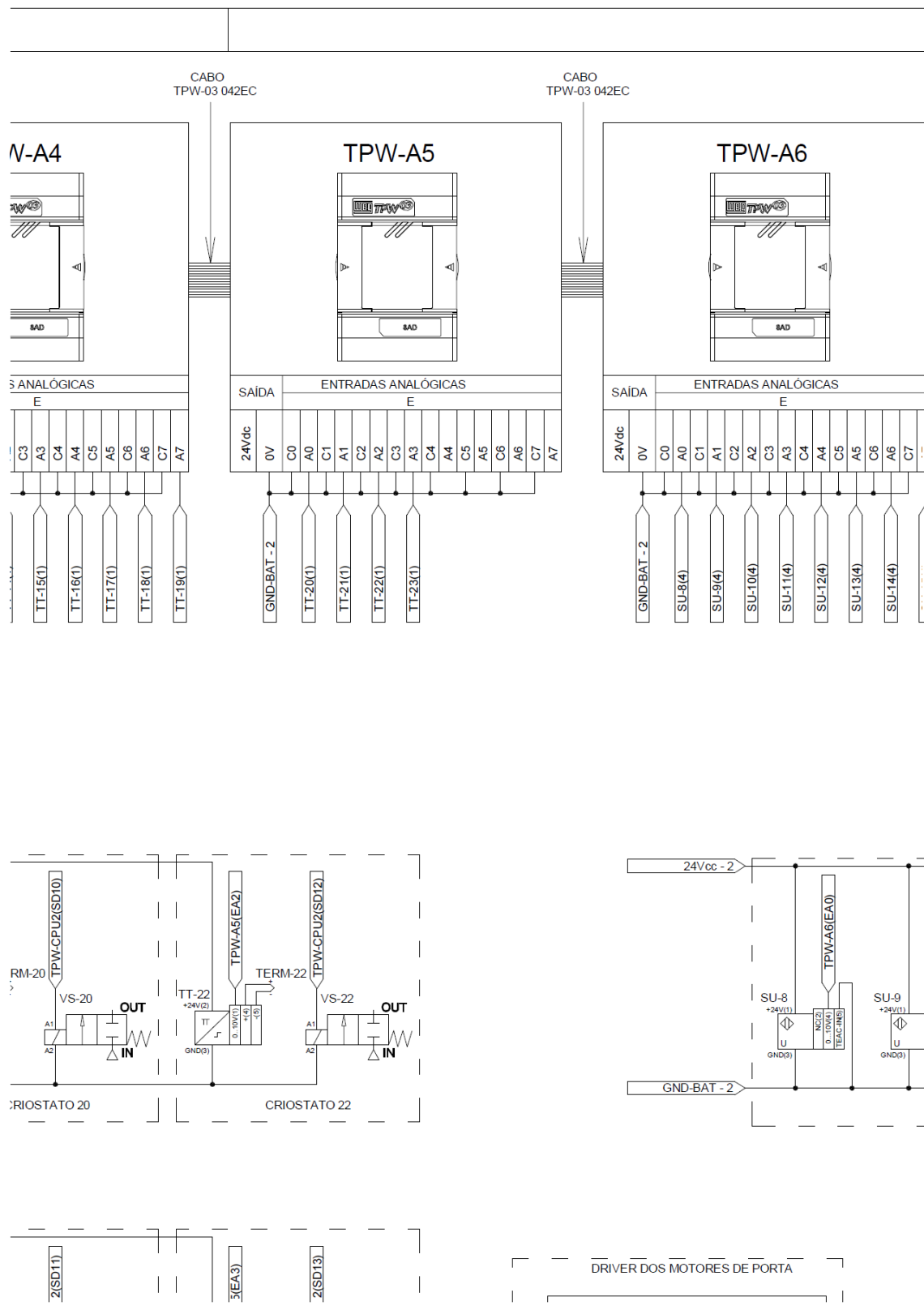



Figura D.22 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 19).

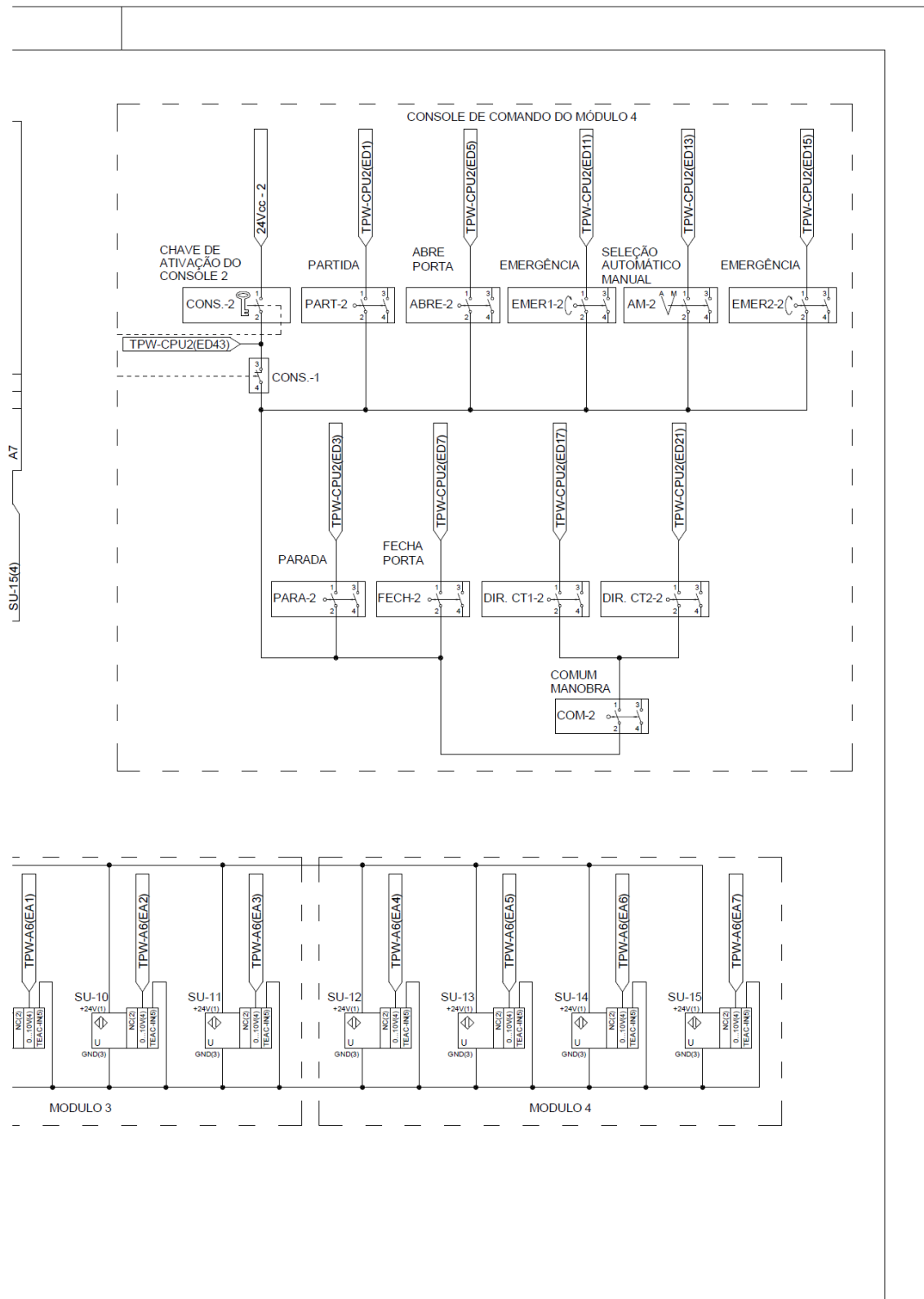



Figura D.23 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 20).

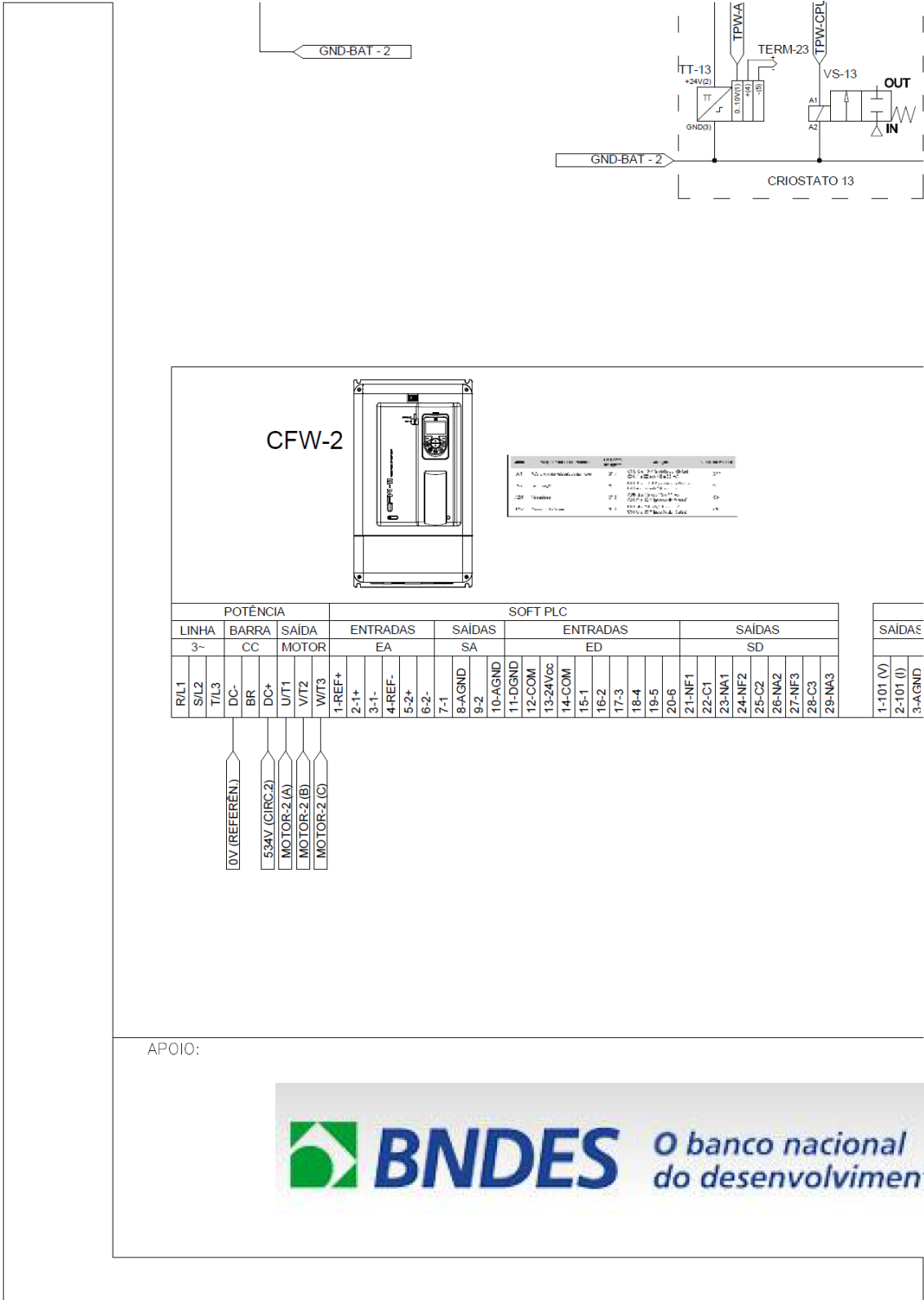



Figura D.24 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 21).

FAPERJ

CAPES

Figura D.25 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 22).

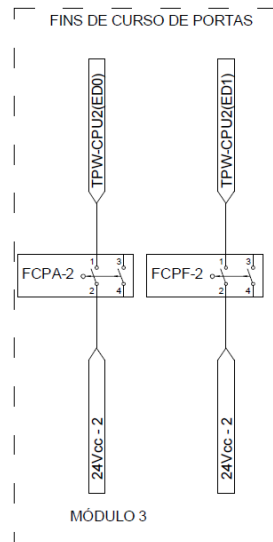
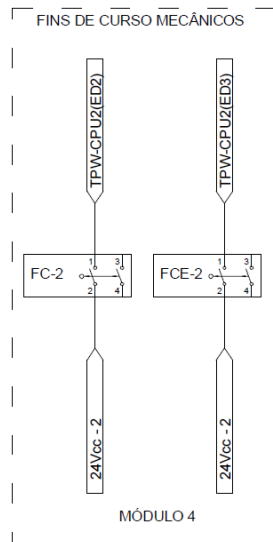
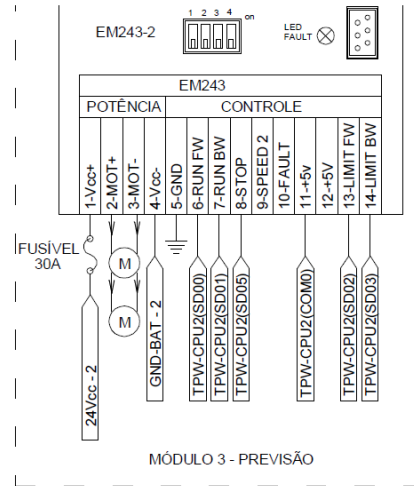
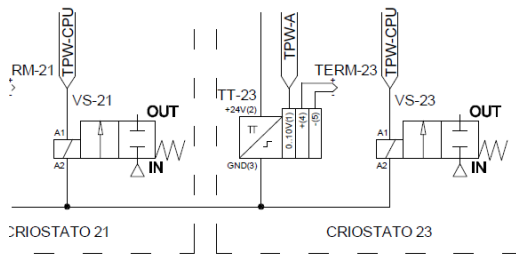



Figura D.26 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 23).

5				
4				
3				
2				
1	ALTERAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO DOS SENSORES NOS CARTÕES ANALÓGICOS	LAÉRCIO S. MATTOS	12/09/2014	
0	PROJETO ELETRICO DO VEICULO DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA MAGLEV–COBRA	LAÉRCIO S. MATTOS	07/05/2014	
REVISÃO	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL	DATA	VISTO

OBJETO: VEÍCULO DE LEVITAÇÃO MAGNÉTICA MAGLEV–COBRA
ENDEREÇO: ATHOS DA SILVEIRA, Nª 01, BLOCO I–H, ILHA DO FUNDÃO

DESENHISTA: LAÉRCIO S. MATTOS
FOLHA: 03/03

PROPRIETÁRIO: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COPPE

DATA: 03/10/2013

RESPONSÁVEL TÉCNICO:
??????????????????????????????????
ENGENHEIRO ELETRICISTA C.R.E.A. ????/D MG

ESCALA: SEM ESCALA

Figura D.27 – Projeto elétrico do MagLev-Cobra(FOLHA 24).

Apêndice E Manual do operador

O Manual do operador deve ficar disponível na central de controle do LESFER. Neste Apêndice é mostrado uma versão condensada do manual sem o sumário, pois, poderia causar má interpretação quanto à numeração das páginas.

MANUAL DO OPERADOR DO MAGLEV-COBRA

Elaboração: Laércio Simas Mattos, Roberto André Henrique de Oliveira, Richard Magdalena Stephan,

Rio de Janeiro, RJ - Brasil
Maio de 2014

Simbologia e definições:

 Advertência

 Perigo

 Risco de choque elétrico

 Baixas temperaturas

 Obstáculos para pedestres

 Queda com desnível

 Campos magnéticos de alta intensidade

Condutor – é o responsável pela operação do veículo MagLev-Cobra
Operador – é o responsável por operar o centro de controle.

1 DESCRIÇÃO DO VEÍCULO E VIA ELEVADA

1.1 Partes constituintes do veículo.

O MagLev-Cobra é um veículo leve devido a suas características intrínsecas de construção. É composto de quatro módulos, sendo dois intermediários e dois de extremidade. Alguns de seus principais componentes são mostrados na Figura 1.1.

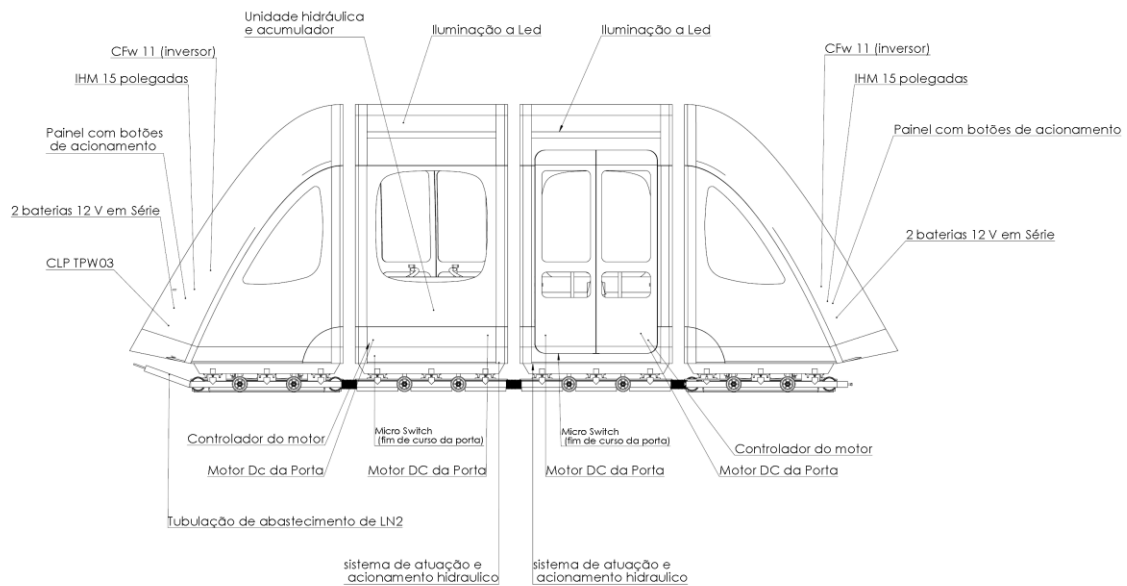



Figura 1.1 – Partes que compõem o veículo MagLev Cobra.

1.2 Dispositivos de comando e controle (console de comando)

O veículo será controlado por um condutor que terá acesso a um console de monitoração e controle (Figura 1.2). Neste console estão presentes botões referentes à operação, parada de emergência e monitoramento via IHM (Interface Homem Máquina). Há ainda, um console específico para manutenção e operação de reboque. Este console de manutenção só está acessível mediante abertura de compartimento específico, e só deve ser acessado mediante condições que serão descritas neste manual.

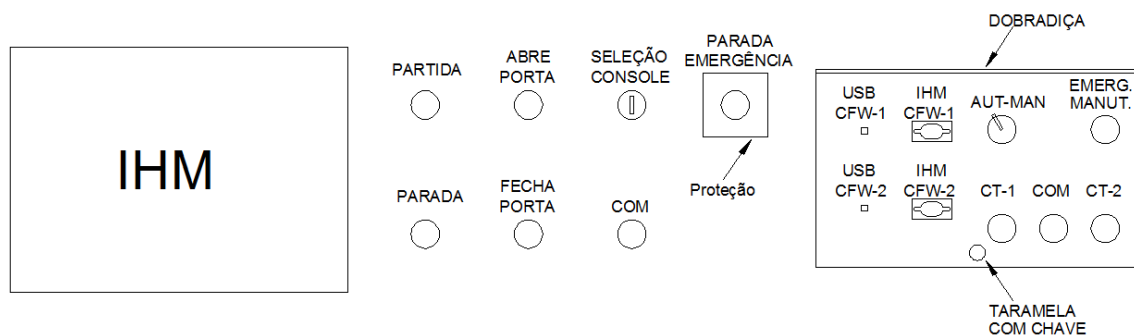



Figura 1.2 – Console de comando do MagLev-Cobra.

Descrição básica dos comandos do operador:
IHM – Interface Homem Máquina;
PARTIDA – Dá início ao movimento (comando à duas mãos, o botão COM deve estar acionado);
PARADA – Comando de parada normal do veículo;
ABRE PORTA – Comando de abertura de porta (só está ativo com o veículo parado);
FECHA PORTA – Comando de fechamento de porta;
SELEÇÃO CONSOLE – Seleciona o console como sendo o único a operar;
COM – Botão de Validação do comando PARTIDA;
PARADA EMERGÊNCIA – Para o veículo imediatamente.
Descrição básica dos comandos de manutenção e reboque (dentro de compartimento oculto trancado):
USB CFW-1 – Acessa o inversor de frequência CFW-1 (somente para a equipe de

manutenção);
USB CFW-2 – Acessa o inversor de frequência CFW-2 (somente para a equipe de manutenção);
IHM CFW-1 – Local de conexão da IHM do CFW-1 (somente para a equipe de manutenção);
IHM CFW-2 – Local de conexão da IHM do CFW-2 (somente para a equipe de manutenção);
AUT-MAN – Seleção automático e manutenção, em AUT somente os comandos do operador estão ativos, em MAN somente os comandos de manutenção e reboque estão ativos.
EMERG. MANUT. – Para o veículo imediatamente, o retorno deste botão para a condição inicial permite que o veículo volte a operar normalmente em MAN.
COM – Ativa os botões CT-1 e CT-2.
CT-1 – Dá início ao movimento em velocidade reduzida na direção do CT-1 (comando à duas mãos, o botão COM deve estar acionado);
CT-2 – Dá início ao movimento em velocidade reduzida na direção do CT-2 (comando à duas mãos, o botão COM deve estar acionado);

1.3 Partes constituintes da via

Por questões técnicas, de custo, de segurança, de estética e de adequação ao local de instalação, optou-se por uma via elevada para dar suporte ao MagLev-Cobra. Na Figura 1.3-a) é mostrada a via elevada que liga os centros de tecnologia I e II(CT-I e CT-II). A estação principal é a estação CT-I (Figura 1.3-b)), nela, além do saguão de embarque e desembarque, estão localizadas a área da oficina de manutenção e do café.

a) b)

Figura 1.3 – Partes que compõem via elevada. a) Trajeto elevado com trilho de imãs instalados, b) Estação CT-I.

Na configuração final (Figura 1.4) a laje da via elevada tem afixado a ela, o trilho de imãs, o secundário do motor linear e o barramento de alimentação de energia para o veículo.

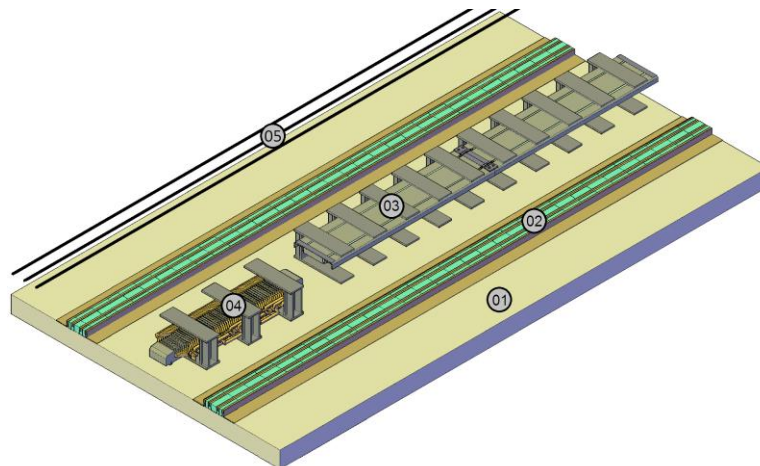



Figura 1.4 – Componentes da via elevada.

01 – Laje de concreto da via elevada.
02 – Trilho de imãs responsável pela levitação magnética.
03 – Secundário do motor linear (fixado na via).
04 – Primário do motor linear (fixado no veículo).
05 – Barramentos CC de 534Vcc.

1.4 Descrição e funcionalidades dos dispositivos

1.4.1 Via elevada

Via de aço e concreto construída de forma elevada. Serve de suporte para o trilho de imãs e secundário do motor linear.

1.4.2 Estações CT-I e CT-II.

A estação do CT-I encontra-se nivelada com o segundo piso do bloco I do centro de tecnologia I. Nesta estação estão presentes, ainda, a oficina de manutenção e o café. A estação CT-II encontra-se ao lado do centro de tecnologia II e nivelada com o segundo piso deste centro. Existe um desnível de 2 metros entre as estações.

1.4.3 Secundário do motor linear

O secundário do motor linear encontra-se no centro da via elevada, preso à laje de concreto. Ele é composto por uma estrutura de metal onde são inseridas barras de alumínio curto-circuitadas formando uma grade responsável por interagir com o primário para dar movimento ao veículo.

1.4.4 Primário do motor linear

O primário do motor linear fica preso ao veículo MagLev-Cobra, é composto por material ferromagnético, bobinas de cobre e chapas de aço. As bobinas do primário são alimentados por um inversor de frequência.

1.4.5 Trilho de imãs.

Para haver a levitação do MgLev-Cobra, deve haver a interação de campos magnéticos com supercondutores sob resfriamento. Os campos magnéticos são gerados por um conjunto de imãs arranjados adequadamente e fixados sobre a laje da via elevada.

1.4.6 Barramento de alimentação CC.

Ao longo de toda linha existe um barramento de tensão contínua de 534Vcc. Esse barramento é responsável pelo suprimento de energia da parte de tração do veículo.

1.4.7 Veículo MagLev-Cobra

O veículo é composto por quatro módulos, sendo dois de extremidade e dois intermediários, nestes módulos existe um grande conjunto de peças e dispositivo, vistos a seguir:

- Baterias de 12V

O veículo possui 4 baterias associadas, duas a duas, em série , provendo energia elétrica na forma contínua de 24Vcc para alimentar circuitos de comando e o freio motor CC

- Inversor de frequência CFW 11

O Inversor recebe energia do barramento CC e utiliza técnicas de controle para controlar o motor linear. Acoplado a este inversor existe um controlador lógico programável chamado PLC-11.

- Painel com botões de acionamento (console de comando)

Os botões do painel de acionamento são a interface do condutor com a operação do veículo.

- IHM (Interface Homem Máquina)

Trata-se de uma tela de 15” sensível ao toque, onde o operador faz as checagens pré-

operacionais, monitora os parâmetros do veículo e recebe sinalizações de erro e advertências.

- CLP TPW03

⚠ Controlador lógico programável responsável por receber sinais vindos dos sensores distribuídos ao longo do veículo e comandar os dispositivos atuadores.

- Iluminação à LED

⚠ A iluminação do veículo é feita através de fitas de LED (Diodo Emissor de Luz).

- Unidade hidráulica e acumulador

O veículo possui um sistema de freios mecânicos que necessitam de ar comprimido. Um sistema de ar comprimido e um armazenador estão instalados no interior do veículo.

- Sistema de atuação e acionamento hidráulico de freio de emergência

Um sistema de freio mecânico é acionado em caso de emergência e para estabilizar o veículo nas estações.

- Criostatos

⚠ A levitação magnética supercondutora necessita que o material supercondutor seja resfriado a baixas temperaturas, por este motivo, os supercondutores são acondicionados dentro de “criostatos”. Os criostatos são responsáveis por receber nitrogênio líquido para manter os supercondutores a baixas temperaturas.

- Tubulação de LN2

⚠ Para abastecer os criostatos existe uma linha de tubulações que interligam os criostatos.

- Motor de porta

⚠ As portas do MagLev tem sua abertura e fechamento comandadas por motores elétricos. Estes motores são de corrente contínua 24Vcc.

- Micro Switch de porta (Fim de curso de porta)

⚠ Para limitar a ação dos motores de porta, existem chaves “fim de curso” instaladas no fim de curso da abertura e no fim de curso do fechamento. Estes fins de curso de tamanho reduzido são conhecidos como Micro Switch.

- Controlador do motor de porta.

⚠ O motor de porta possui um controlador dedicado que é instalado junto ao mesmo.

- Sensor de temperatura dos criostatos

⚠ Junto a cada um dos criostatos está instalado um sensor para monitorar a temperatura dos mesmos. Esta temperatura deve ser mantida em níveis específicos para que as características de levitação não sejam comprometidas

- Sensor de velocidade

O sensor de velocidade está instalado em uma das extremidades do veículo e é responsável por monitorar a velocidade instantânea do veículo e também dar informações para o cálculo da posição.

- Sensor de altura

⚠ Quatro sensores de altura estão instalados em cada um dos quatro módulos do MagLev, e serve para monitorar a altura de levitação.

- Chaves fim de curso

⚠ O MagLev conta com sensores do tipo “Chave Fim de Curso”, que são acionadas por atuadores presentes na via. Os fins de curso servem para “conferir” o posicionamento do veículo na via. O cruzamento desta informação com as recebidas do sensor de velocidade servem para garantir a máxima segurança no posicionamento, principalmente na aproximação com as estações.

- Sapatas coletoras de energia

A transferência da energia dos trilhos de alimentação do barramento CC para o veículo se dá através de “sapatas ou escovas” coletoras de energia

- Sistema de comunicação

A comunicação entre o condutor e o operador é feita através de unidades de rádio móveis.

- Sistema de câmeras sem fio

As câmeras sem fio espalhadas no trajeto e no veículo são monitoradas pelo centro de controle.

- Rede de campo RS-485

O controle e monitoramento do veículo é baseado em uma rede de campo Modbus sobre RS-485. Esta rede está presente no veículo e no centro de comando. O link acontece através de dispositivos de rádio AirGat-Modbus.

1.4.8 Centro de controle

O centro de controle fica localizado no LESFER, no segundo andar do bloco I do CT-I.

- IHM

Na interface homem máquina do centro de controle é possível monitorar todas as variáveis de comando e controle do MagLev-Cobra.

- Computador da central de controle

O computador da central de controle é mais uma estação da rede Modbus, nele, além das informações da rede, ficam registrados (armazenados) o histórico da operação do veículo.

- Monitor das câmeras de monitoramento.

No centro de controle está instalado um monitor de vídeo onde são mostradas as imagem das câmeras ao operador.

- Anunciador sonoro

Toda vez que ocorrer o acionamento do botão de emergência do MagLev soará um alarme sonoro no centro de controle.

2 CONDIÇÕES DE RISCOS E PROVIDÊNCIAS PARA SANÁ-LAS

2.1 Riscos na plataforma(estações CT-I e CT-II)

2.1.1 Risco de queda da plataforma para a via.

Os usuários devem se posicionar atrás da faixa amarela e aguardar até que o veículo esteja totalmente parado na estação e com a porta aberta (Figura 2.1). A faixa amarela não deve ser ultrapassada devido ao risco de queda. A controlador da central de controle deve emitir sinal sonoro informando sobre o risco de queda ao observar (pelas câmeras de segurança) que há pessoas sob risco.

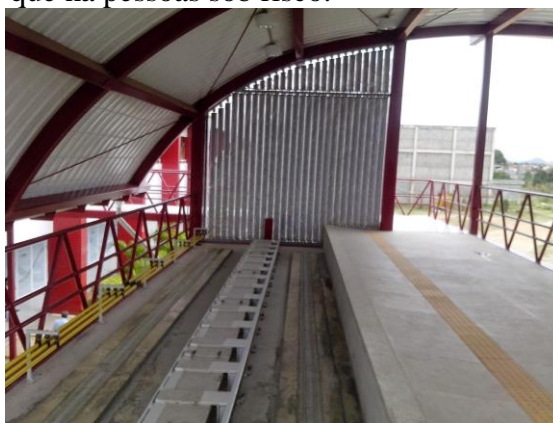



Figura 2.1 – Demarcação no piso delimitando a área de risco.

2.1.2 Risco de grande aglomeração de pessoas na plataforma.

A Central deve ordenar a paralização do funcionamento das atividades quando houver grande aglomeração de pessoas, com possíveis quedas ou esmagamentos contra as paredes e grades laterais.

2.1.3 Risco de incêndio.

A estação deve ser evacuada imediatamente quando for constatado incêndio, seja qual for sua magnitude. A rota de fuga estará sinalizada por placas indicativas.

2.1.4 Falta de iluminação.

Haverá nas estações iluminação de emergência com acendimento automático em caso de falta de luz.

2.2 Riscos da via

2.2.1 Atração de objetos metálicos pelo trilho de imãs

Objetos propensos a interações magnéticas com a via de imãs devem ser mantidos longe do trilho de imãs.

2.2.2 Risco de queda na via.

Em casos de emergência a via poderá ser usada para evacuação de pessoas. Somente o secundário do motor linear deve ser utilizado como caminho para transitar sobre a via.

Por possuir irregularidades de aproximadamente 10mm de altura, quem trafegar sobre o secundário deve estar atento a tropeços. Esta advertência deve ser dada pelo condutor do veículo aos usuários que forem trafegar sobre a via.

2.2.3 Pessoas com marca-passo

Nas estações devem haver avisos sobre a existência de campos magnéticos intensos nas proximidades da via.

2.3 Riscos elétricos

2.3.1 Trilho de alimentação de 534Vcc

A via só poderá ser acessada quando a alimentação CC dos barramentos de alimentação elétrica do veículo estiver desligada. Os "giroflex" de sinalização de barramento energizados devem estar apagados.

2.3.2 O primário do motor linear

O primário do motor linear só poderá ser acessado por equipe de manutenção especializada.

2.3.3 Controladores lógicos, inversores, sensores e atuadores.

Os contatos elétricos dos controladores lógicos, inversores, sensores e atuadores só poderão ser acessados por equipe de manutenção especializada.

2.4 Riscos com Nitrogênio líquido

2.4.1 Tubulação de abastecimento de LN

As tubulações de nitrogênio líquido podem causar queimaduras devido a sua baixa temperatura. Estas tubulações não devem ser tocadas.

2.4.2 Criostatos

Os criostatos podem causar queimaduras devido a sua baixa temperatura. Estes criostatos não devem ser tocadas.

2.5 Riscos de atropelamento e esmagamento

2.5.1 Nas estações

Ao acessar a via o indivíduo está sob risco de atropelamento e esmagamento. Os trilhos não devem ser acessados pelas estações. Somente equipe de manutenção pode acessar a via pelas estações, sendo que para isso tenham sido tomados todos os procedimentos de segurança de manutenção.

2.5.2 Ao longo da via

Os usuários e o condutores estarão sob risco de atropelamento e esmagamento se desembarcarem do veículo ao longo da via. Usuários e condutores só poderão desembarcar do veículo ao longo da via em caso de emergência, para isso todos os procedimentos previstos na seção 7.5 deverão ser adotados.

3 PROCEDIMENTOS PARA COLOCAR O VEÍCULO EM CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO.

3.1 Procedimentos para energização da via

3.1.1 Procedimentos iniciais de energização da via (a cargo da equipe de manutenção).

Para energizar a via o disjuntor do quadro geral do bloco I deve estar ligado. O conversor regenerativo deve estar ligado. A chave seccionadora do barramento CC da via, localizado no pilar treze deve estar ligada e com o cadeado da equipe de manutenção fechado.

3.1.2 Procedimento de energização da via (a cargo do condutor)

O condutor deve verificar se o veículo está posicionado corretamente na estação CT-I, se a linha de abastecimento de nitrogênio líquido está desconectada, se o cabo de carregamento de baterias está desconectado, se não há pessoas na via e se não há etiqueta de aviso de manutenção na chave de acionamento de energização da via. Caso alguma destas condições não seja atendida, o condutor deve acionar a equipe de manutenção. Depois de verificadas estas condições, o condutor deve acionar a chave de energização do barramento CC. Esta chave está localizada dentro da oficina do CT-I.

A partir deste momento, o barramento CC estará energizado e o "giroflex" indicador de barramento energizado estará aceso.

3.2 Abertura de porta com o veículo estacionado.

O condutor deverá abrir a porta do veículo acionando o "contato chave", localizado próximo à porta (Figura 3.1). Para abrir a porta, a chave deve ser inserida e girada para a direita. Para retirar a chave, a mesma deve voltar para a posição central. A porta permanecerá aberta. Caso seja necessário fechar a porta novamente, basta inserir a chave e girar para a esquerda. Para retirar a chave, a mesma deve voltar para a posição central. A porta será fechada.

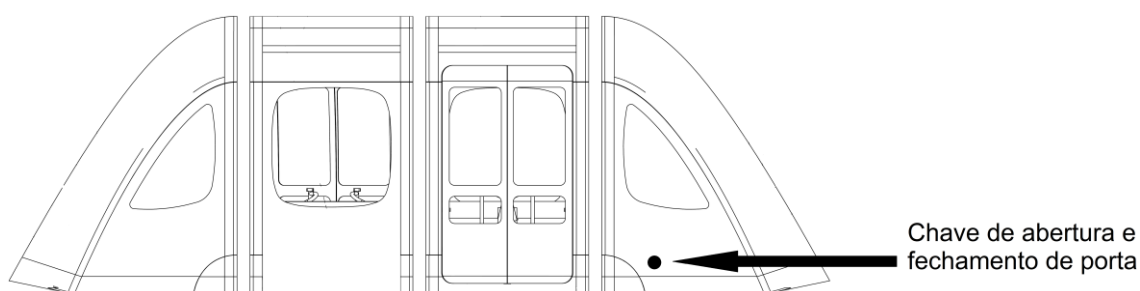



Figura 3.1 – Posicionamento do comando de abertura de porta.

3.3 Escolha do console de comando utilizado

Após a energização do barramento CC e a abertura de porta, o operador deve entrar no veículo, ligar o disjuntor dos circuitos de comando, acender as luzes e escolher o console de comando introduzindo e girando a chave de um dos consoles de comando localizados nos módulos de extremidade do MagLev-Cobra. Como o veículo encontra-se na estação CT-I o console escolhido deve ser o "Console 2"(a direita de quem entra). Ao girar a chave o condutor ativa todos os comandos necessários para a operação do veículo (Figura 3.2).

Durante a operação diária o console escolhido deve ser aquele que possibilita a melhor visualização da via no sentido de movimentação. Ou seja, deve-se utilizar o Console 2

quando o deslocamento se der da estação CT-1 para CT-2. E Console 1 quando o deslocamento for do CT-2 para o CT-1(Figura 3.3).

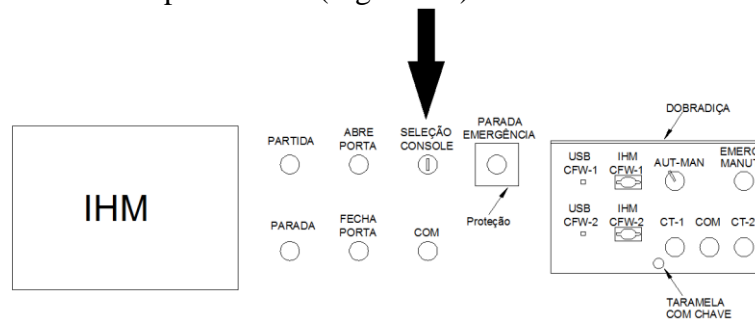



Figura 3.2 – Posição do ponto para inserção da chave de seleção do console de comando.

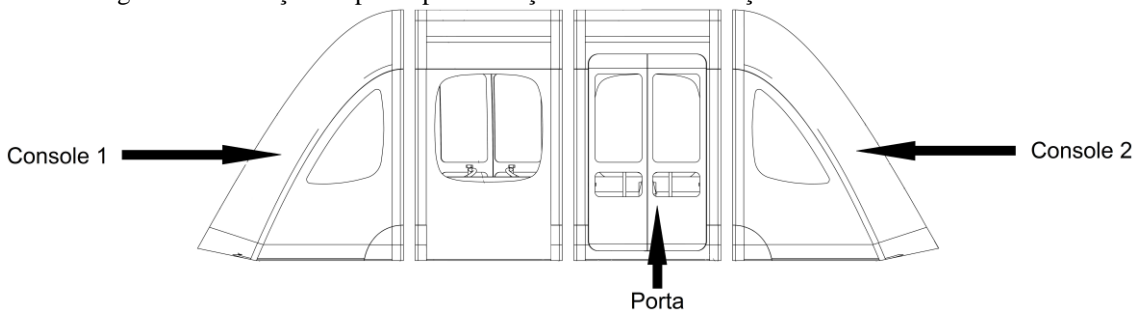



Figura 3.3 – Posição dos consoles de comando vistos em relação à entrada do veículo.

4 VERIFICAÇÕES INICIAIS

A checagem das condições gerais do MagLev-Cobra devem ser verificadas pelo condutor antes do início da condução. Um check list deve ser preenchido na IHM para que os botões de operação sejam liberados.

4.1 Check list da interface homem máquina

Após a escolha do console a ser utilizado a primeira tela mostra as verificações que devem ser feitas pelo condutor, a saber:

4.1.1 Verificação da temperatura dos criostatos

A temperatura dos criostatos deve estar dentro dos padrões necessários para o início de operação. Caso esteja fora dos padrões a equipe de manutenção deve ser acionada e esta opção não deve ser validada.

4.1.2 Verificação da altura de levitação

A altura de levitação deve estar dentro dos padrões necessários para o início de operação. Caso esteja fora dos padrões, a equipe de manutenção deve ser acionada e esta opção não deve ser validada.

4.1.3 Verificação dos níveis de tensão do barramento CC

Os níveis de tensão do barramento CC devem estar dentro dos padrões necessários para o início de operação. Caso esteja fora dos padrões, a equipe de manutenção deve ser acionada e esta opção não deve ser validada.

4.1.4 Verificação do nível de tensão da bateria

Os níveis de tensão de bateria devem estar dentro dos padrões necessários para o início de operação. Caso esteja fora dos padrões a equipe de manutenção deve ser acionada e esta opção não deve ser validada

4.1.5 Verificação da iluminação interna

O operador deve fazer uma verificação visual da iluminação. Em caso de iluminação normal, marcar o item correspondente no check list. Caso a iluminação não esteja em perfeitas condições, o condutor poderá marcar esta opção como válida, desde que a iluminação natural forneça condições de operação do trem. A equipe de manutenção deve ser acionada para programar o reparo.

4.1.6 Verificação visual da sinalização de via energizada.

O condutor deve observar se os “giroflex” estão acesos, isso indica que o barramento CC está energizado. Caso o “giroflex” esteja apagado a equipe de manutenção deve ser acionada e esta opção não deve ser validada.

4.1.7 Verificação da comunicação com o centro de operações.

O condutor deve fazer contato com a central de operações para testar a via de comunicação e, também, para solicitar liberação para operar. Esta opção só poderá ser marcada após liberação do centro de operações.

4.2 Tela da IHM com a opção do operador confirmar os itens a “duas mãos”.

A primeira tela que aparecerá para o condutor é a de check list. Nesta tela algumas confirmações serão solicitadas ao condutor. A confirmação deverá ser feita a “duas mãos”, impedindo confirmações acidentais.

Exemplo: Selecione o botão “Validação” em seguida a opção “confirma” da iluminação interna (isso confirma que o veículo está apto a operar com a iluminação atual).

Algumas confirmações sevem para alertar o condutor que o item está fora de padrão. Por exemplo, se o condutor tentar validar a temperatura dos criostatos, sendo que a mesma está acima do padrão, a confirmação não será aceita e o condutor deverá acionar a equipe de manutenção.

A tela de check list é mostrada na figura Figura 4.1.

	Valor atual	Faixa aceitável	Confirmação
Temperatura dos criostatos	XXX ºC	AA ºC até ZZ ºC	Confirma
Altura de levitação	XX mm	AA mm até ZZ mm	Confirma
Tensão no barramento CC	XX V	AA V até ZZ V	Confirma
Tensão das baterias	XX V	AA V até ZZ V	Confirma
Iluminação interna			Confirma
Sinalização de via energizada			Confirma
Comunicação com o centro de operações			Confirma

Mantenha este botão precionado para confirmar

Validação

Figura 4.1 – Tela de check list para confirmação das verificações iniciais.

4.3 Check list completo: Veículo pronto para a operação.

O operador só poderá mudar de tela caso o check list esteja com todos os itens marcados, como mostra a Figura 4.2. (OBS.: A equipe de manutenção terá um código de sequência de teclas que permitirá navegar por outras telas). Ao pressionar a tecla prosseguir, os botões do console serão liberados para operação.

Toda vez que o condutor se ausentar do console de controle, o mesmo deve retirar a chave de seleção de console. Toda vez que o condutor recolocar a chave, o check list será solicitado novamente.

Figura 4.2 – Tela de check list completo, o condutor está apto à prosseguir.

5 PROCEDIMENTOS DE COLOCAÇÃO EM OPERAÇÃO

5.1 Monitoramento do embarque de passageiros até o limite máximo.

O condutor deve se posicionar próximo à porta do veículo para acompanhar o embarque de passageiros. Quando a lotação máxima for atingida o condutor deve anunciar que o veículo está lotado e que os usuários restantes devem aguardar a próxima viagem.

5.2 Ir para a tela de inicialização e verificar se há alarmes na IHM.

Com os passageiros embarcados o condutor deve introduzir e girar a chave de ativação do console de comando, realizar o check list, acionar o botão prosseguir da IHM (Figura 4.2). Aparecerá uma tela de alarmes. Caso algum alarme esteja sinalizado o condutor deve retirar a chave do console, evacuar o veículo e acionar a equipe de manutenção. Caso não haja alarme o condutor deverá acionar o botão prosseguir da IHM. As telas seguintes são apenas de monitoramento e informativas, não possuem funções operacionais.

5.3 Veículo pronto para operar

Com todas as checagens prontas o veículo está pronto para operar.

6 COLOCAÇÃO EM OPERAÇÃO

6.1 Comando de fechamento de porta.

Com os passageiros embarcados e feitas as "verificações iniciais" e os "procedimentos de colocação em operação", acionar o botão de fechamento de porta.

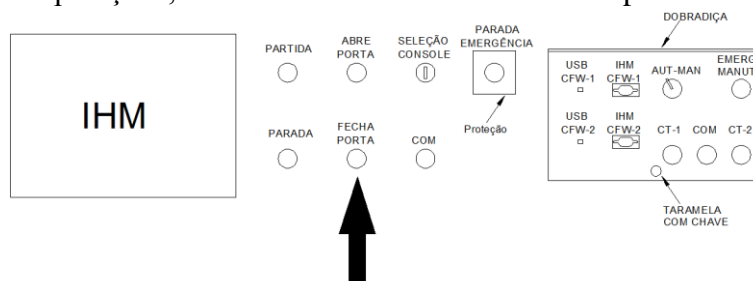



Figura 6.1 – Localização do botão para fechamento de porta.

6.2 Conferir trancamento de porta

O operador deve visualizar o led indicador de porta fechada, caso contrário não poderá dar partida no trem.

6.3 Observar obstáculos na via

O operador deve visualizar se há obstáculos na via, caso contrário não poderá dar partida no trem.

6.4 Comando de partida

O comando de partida será dado a duas mãos, para iniciar a movimentação devem ser acionados simultaneamente os comandos “COM” e “Partida”. Com este comando o veículo iniciará o movimento, trafegará pela via e irá parar automaticamente na estação seguinte.

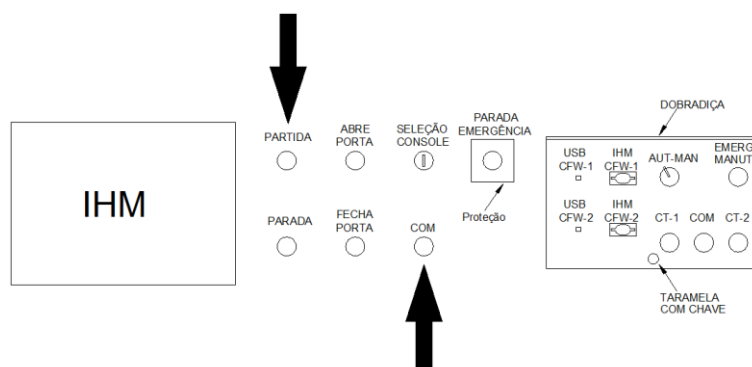



Figura 6.2 – Localização dos botões para partida do veículo.

6.5 Observar velocidade de aproximação

Na IHM será possível observar a velocidade do veículo durante a aceleração, a velocidade de regime e a velocidade de desaceleração (ou aproximação). Caso o condutor verifique que a velocidade de aproximação está acima da prevista, o mesmo deverá acionar o botão de emergência. Em condições normais a velocidade de aproximação não será ultrapassada, mas caso isso ocorra o veículo entra em frenagem de emergência automaticamente. Excepcionalmente, somente caso os dois comandos anteriores falhem, o condutor deverá intervir.

6.6 Parada automática na estação de destino.

Nenhuma ação deverá ser realizada pelo condutor na chegada à estação seguinte. O veículo irá parar automaticamente.

6.7 Comando de abertura de porta.

Após a parada completa do veículo o condutor deve dar o comando de abertura de porta.

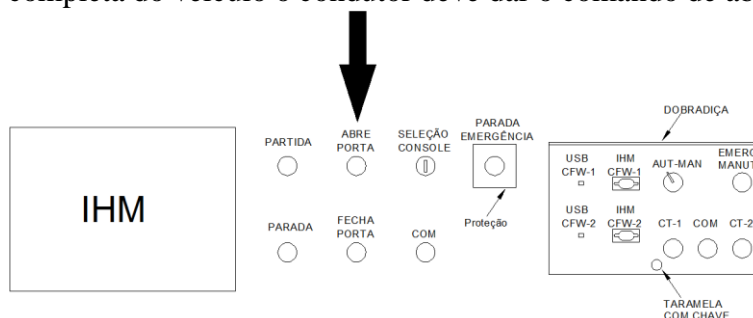



Figura 6.3 – Localização do botão para abertura de porta.

6.8 Desembarque de passageiros

O condutor deve orientar os passageiros durante o desembarque.

6.9 Desembarque e embarque simultâneos.

O desembarque e embarque simultâneos não serão permitidos, devendo o veículo ser totalmente evacuado antes do início do embarque de novos passageiros. O condutor é o responsável por coordenar esse procedimento.

7 PROCEDIMENTOS DE EMERGÊNCIA

Quais procedimentos devem ser tomados em caso das seguintes falhas

7.1 O que fazer caso ocorram as seguintes falhas

7.1.1 O veículo não fecha as portas.
Evacuar o veículo e contatar a equipe de manutenção.
7.1.2 O veículo não abre as portas com passageiros e operador a bordo.
O operador deve certificar-se que o veículo está estacionado corretamente na estação, deve liberar manualmente a trava de porta e empurrar a porta mantendo uma pressão contínua nas duas folhas de porta até que a mesma esteja totalmente aberta.
7.1.3 O veículo não parte da estação.
Verificar na IHM se há algum alarme de falha. Se houver, e se o problema puder ser sanado pelo condutor, o mesmo poderá resolver a falha e tentar partir o veículo novamente. Caso não haja sinalização de falha, o veículo deve ser evacuado e a equipe de manutenção deve ser acionada.
7.1.4 O veículo parou no meio do trajeto.
Se o veículo parou no meio do trajeto por causa desconhecida, o condutor poderá tentar acioná-lo novamente através dos botões “COM” e “Partida” (Figura 7.1).

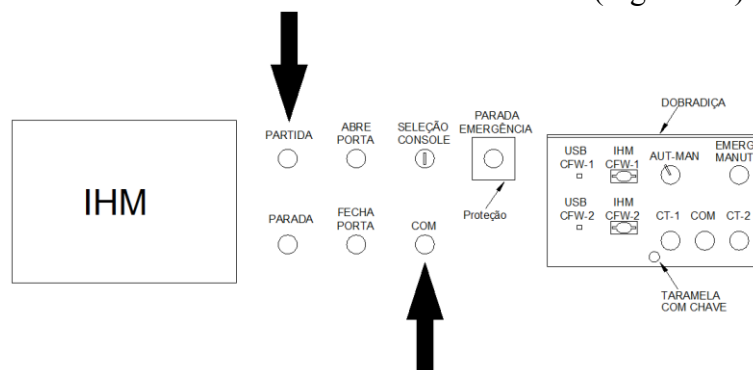



Figura 7.1 – Localização dos botões para recolocar o veículo em movimento.

Se o veículo não voltar a se movimentar o condutor deve abrir a porta de acesso aos comandos de movimentação manual, virar a chave “AUT-MAN” para a posição “MAN”, acionar o botão “COM” e acionar o botão CT-1 ou CT-2 para levar o veículo em velocidade reduzida até a estação mais próxima. Ao chegar na estação o veículo deve ser evacuado e a equipe de manutenção deve ser acionada.
Se nenhuma das ações anteriores funcionar, o veículo deve ser evacuado pela saída de emergência. A forma correta de evacuar o veículo pela saída de emergência será apresentada nas seções 7.4, 7.5 e 7.6.
7.1.5 O veículo ultrapassou a velocidade máxima.

- O condutor poderá parar o veículo pelo botão de parada. Aguardar que o veículo pare completamente (Figura 7.2).

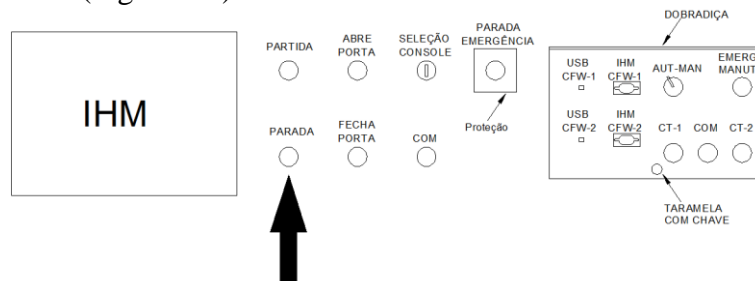



Figura 7.2 – Localização do botão para parada do veículo.

Ele poderá retomar o movimento pressionando os botões “COM” e “Partida”.

- Outra forma é parar o veículo pelo botão de emergência (Figura 7.3).

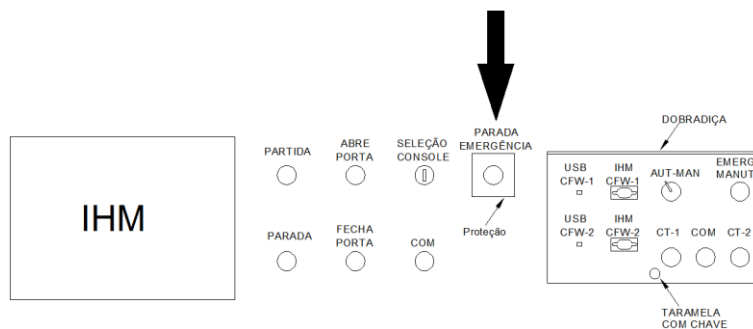



Figura 7.3 – Localização do botão para parada de emergência do veículo.

Neste caso o veículo só voltará a andar se o condutor liberar o botão de emergência, retirar a chave do console de comando, recolocar a chave no console e proceder todos os procedimentos de “Verificações iniciais” e “Procedimentos de colocação em operação”.

• Após os procedimentos da parada de emergência o veículo pode retornar para estação de forma automática (pressionando “COM” e “Partida”) e de forma manual (chave na posição “MAN” e acionando o botão “COM” e CT-1 ou CT-2).

7.1.6 O veículo está acima da velocidade de aproximação.

Caso o veículo esteja se aproximando da estação com velocidade acima da velocidade máxima (isso pode ser visualizado na IHM) o mesmo deve ser parado pelo botão de emergência.

Após os procedimentos da parada de emergência o veículo pode retornar para estação de forma automática (pressionando “COM” e “Partida”) e de forma manual (chave na posição “MAN” e acionando o botão “COM” e CT-1 ou CT-2).

7.1.7 A IHM sinalizou falha com baixo risco.

Neste caso a condução deve ocorrer naturalmente até a próxima estação. Ao chegar na estação de destino, o veículo deve ser evacuado e a equipe de manutenção deve ser acionada.

7.1.8 A IHM sinalizou falha com alto risco.

Em todas as situações de alto risco já mapeadas, o veículo irá parar automaticamente não sendo necessária a intervenção do condutor. Caso não ocorra a parada automática, o botão de emergência deve ser acionado (situações não previstas).

7.2 O que fazer caso ocorram as seguintes situações de risco

7.2.1 Obstáculos na via ou nas estações

Parar o veiculo pelo botão de emergência.

7.2.2 Pessoas na via.

Parar o veículo pelo botão de emergência.

7.2.3 Chuva

O veículo pode operar sob chuvas moderadas. Mas, por se tratar de um veículo de testes, o mesmo não deve operar com passageiros durante chuvas torrenciais. Testes nestas condições somente serão realizados pela equipe de manutenção e desenvolvimento.

7.2.4 Vento

O veículo pode operar sob ventos moderadas. Mas, por se tratar de um veículo de testes, o mesmo não deve operar com passageiros durante a ocorrência de ventos fortes. Testes nestas condições somente serão realizados pela equipe de manutenção e desenvolvimento.

7.3 Condições para utilização da porta de emergência.

7.3.1 Falta total de energia.

Em caso de falta de energia o condutor deve entrar em contato com o centro de comando comunicando a falta. O centro de comando **deve** acionar a equipe de manutenção para tentar reestabelecer a energia. Caso não haja previsão para o

reestabelecimento ou a previsão seja de uma demora acima de 20min. O operador do centro de comando deve autorizar a utilização da porta de emergência.

7.3.2 Falha nas tentativas de recolocar o veículo em movimento, tanto em modo automático quanto em modo manual.

Neste caso o condutor deve comunicar ao operador do centro de controle e este deve autorizar o uso da porta de emergência, mediante as seguintes condições:

- A equipe de manutenção foi acionada para o procedimento de desocupação do veículo em condições de emergência, desligou o barramento CC, desligou e lacrou a chave seccionadora do barramento CC e comunicou ao operador do centro de controle.
- Confirmar se o condutor informou aos usuários todos os procedimentos de evacuação previstos nos itens 7.4, 7.5 e 7.6.

Observadas as condições acima o operador do centro de comando deve autorizar a utilização da porta de emergência.

7.3.3 Condições de altíssimo risco

Condições de altíssimo risco, como por exemplo, incêndio no veículo, o operador poderá abrir a porta sem autorização do operador do centro de controle. Concomitante à abertura da porta, o operador deve informar sobre os riscos previstos durante a evacuação. Principalmente ao fato do barramento CC de 534Vcc estar energizado.

7.4 Procedimentos para abrir a porta de emergência

A porta de emergência deve ser aberta pressionando-se a parte superior da placa de policarbonato até que a mesma se solte por inteiro.

7.5 Como conduzir pessoas sobre a via

Antes de sair do veículo pela porta de emergência as seguintes informações devem ser passadas aos passageiros:

- Todos os passageiros devem trafegar sobre a estrutura de metal localizada no centro da via.
- A evacuação se dará por fila indiana, sem ultrapassagens.
- Não se aproximar dos três trilhos de cor amarela localizados na lateral da via, estes estão energizados com mais de 500V (sempre considerá-los energizados em quaisquer circunstâncias).
- Cuidado com os ressaltos do caminho.
- Só descer da estrutura de metal quando chegar na estação.
- Não aproximar objetos metálicos do trilho de imãs.

O condutor do veículo deve conduzir as pessoas até a estação mais próxima, e orientá-los de como subir na plataforma.

7.6 Como subir nas estações a partir da via

A altura do piso da via até a plataforma é de aproximadamente 45 cm, não sendo necessário o uso de escadas. Pessoas com dificuldades de superar este obstáculo devem ser orientadas para sentar sobre a plataforma da estação, girar o corpo no sentido da estação, afastar-se da borda e, então, ficar de pé.

7.7 Procedimento para rebocar o veículo paralisado na via.

O condutor deve contatar equipe de manutenção para tomar as devidas providências quando o veículo ficar parado na via após a evacuação.

8 PROCEDIMENTOS DE ESTACIONAMENTO DO VEÍCULO NA ESTAÇÃO/ “GARAGEM”

8.1 Desembarque final de passageiros

O desembarque final deve ocorrer na estação do CT-I, onde o veículo irá pernoitar. O condutor deve anunciar final de operação.

8.2 Bloqueio dos consoles de comando

A chave de ativação do console de comando deve ser retirada para desativar o console. As luzes devem ser apagadas e o disjuntor de comando desligado.

8.3 Inspeção visual de danos visíveis ocorridos durante a operação.

O operador deve inspecionar o veículo a procura de danos ocorridos devido à má utilização, vandalismo e desgaste natural.

8.4 Fechamento de portas com o veículo estacionado para pernoite.

O veículo deve ser fechado com uso da chave de porta (Figura 8.1).

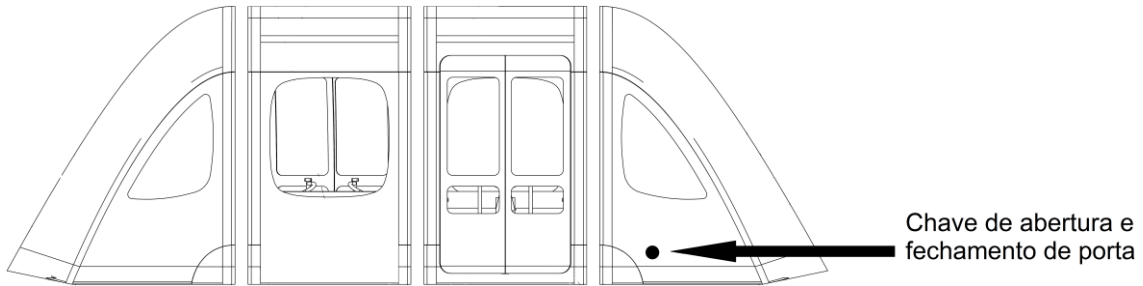



Figura 8.1 – Posicionamento do comando de fechamento de porta.

8.5 Procedimentos para desenergização da via.

O operador deve ir até a oficina do CT-I e acionar a chave de desligamento do barramento CC.

8.6 Relatório final da operação (Relatório de ocorrências com check list da parada para pernoite)

O operador deve relatar detalhadamente todas as ocorrências que aconteceram durante seu turno de trabalho. Como por exemplo, falta de luz, paradas repentinas, alarmes, solicitações de manutenção, etc. Caso não haja problemas, relatar “SEM OCORRÊNCIAS”.

Anexo I Certificados do inversor de frequência CFW-11

O inversor de frequência CFW-11 possui certificações internacionais que estão listadas abaixo:

WEG

Declaration of Conformity

The undersigned, representing the manufacturer:

WEG Drives e Controls - Automação
Rua Waldemar Grubba, 3300
89256-900 Jaraguá do Sul - SC - Brazil

and our representative established within the European Community:

WEG Germany GmbH
Industriegebiet Türnich 3, Geigerstraβe 7, 50169
Kerpen Türnich – North Rhine – Westphalia - Germany

herewith declare under our sole responsibility that the product:

CFW11 Frequency Inverter Series,
models identified as below
CFW11, followed by 0002, 0003, 0004, 0005, 0006, 0007, 0010, 0012, 0013, 0016, 0017, 0022, 0024, 0027, 0028, 0031, 0032, 0033, 0038, 0044, 0045, 0053, 0054, 0058, 0063, 0070, 0080, 0086, 0088, 0105, 0107, 0125, 0142, 0150, 0170, 0180, 0211, 0216, 0242, 0289, 0312, 0315, 0365, 0370, 0435, 0477, 0515, 0601, 0720, followed by S, B or T, followed by 2, 4 or 6, may be followed by O…54.
CFW11M… T 4 …, CFW11M … T 5 … and CFW11M … T 6 …
UR11 … T 4 …, UR11 … T 5 … and UR11 … T 6 …
[a two-digit prefix (such as BR, EU, EX, MS, NA, SA) is used to define manual language and factory settings]

to which this declaration relates, is in conformity with the requirements of the following directives when selected, installed and used according to the product documentation:

Low-Voltage Directive (LVD) 2006/95/EC.
EMC Directive 2004/108/EC.

The following standards have been applied:

Safety:
EN 50178 (1997) - Electronic equipment for use in power installations
EN 60204-1 (2006) - Safety of machinery - Electrical equipment of machines - Part 1: General requirements
IEC 61800-5-1 (2007) – Adjustable speed electrical power drive systems – Part 5-1: Safety requirements – Electrical, Thermal and Energy
EMC:
EN 61800-3 (2004) - Adjustable speed electrical power drive systems - Part 3: EMC product standard including test methods.

Year of CE Marking: 2008 (CFW11 frames A, B, C and D S2, B2, T2 and T4, IP54 models; CFW11M), 2009 (CFW11 frame E T2 and T4), 2010 (CFW11 frames F and G T4), 2012 (UR11), 2014 (CFW11 frames D, E, F and G T6, frames B and C N12 models).

Carlos Afonso Hümmelgen
R&D Engineer – Project Manager
WEG Drives e Controls - Automação
Date: 14/11/2014.

Norton Petry
R&D Manager
WEG Drives e Controls - Automação
Date: 14·11·2014.

Figura I.1 – Certificações do inversor de frequência CFW-11. Declaração de conformidade com as normas de segurança EN 50178(1997), EN 60204-1(2006), IEC 61800-5-1(2007) e com as normas de EMC EN 61800-3(2004). Segue as diretivas LVD 2006/95/EC e EMC Directive 2004/108/EC.

TÜVRheinland®

ZERTIFIKAT
CERTIFICATE

EC Type-Examination Certificate

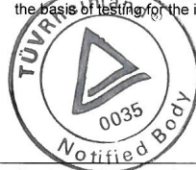
Reg.-No.: 01/205/5135/11

Product tested	Safety Function "Safe Torque Off (STO)" within Frequency Inverters	**Certificate holder**	WEG Equipamentos Elétricos S.A. - Automação AV. PREF. Waldemar Grubba, 3000 89259-900 Jaraguá do Sul / SC Brazil
Type designation	Frequency Inverter Types: CFW11, CFW70x, CFW11M Series	**Manufacturer**	see certificate holder
Codes and standards forming the basis of testing	EN 61800-5-2:2007 EN ISO 13849-1:2008 + AC:2009 IEC 62061:2005		IEC 61508 Parts 1-7:2010 EN 50178:1997 IEC 60204-1:2005 (in extracts)
Intended application	The safety function STO complies with the requirements of the relevant standards (Cat. 3 / PL d acc. to EN ISO 13849-1, SIL CL 2 acc. to IEC 61800-5-2 / IEC 62061 / IEC 61508) and can be used in applications up to Cat. 3 / PL d acc. to EN ISO 13849-1 and SIL 2 acc. to IEC 62061 / IEC 61508.		
Specific requirements	The instructions of the associated Installation and Operating Manual shall be considered.		

It is confirmed, that the product under test complies with the requirements for machines defined in Annex I of the EC Directive 2006/42/EC.

This certificate is valid until 2016-06-30.

The test report-no.: 968/M 313.00/11 dated 2011-06-30 is an integral part of this certificate.

This certificate is valid only for products which are identical with the product tested. It becomes invalid at any change of the codes and standards forming the basis of testing for the intended application.

Berlin, 2011-06-30

Certification Body for Machinery, NB 0035

Dipl.-Ing. Eberhard Frejno

TÜV Rheinland Industrie Service GmbH, Alboinstr. 56, 12103 Berlin / Germany
Tel. +49 30 7562-1557, Fax +49 30 7562-1370, E-Mail: tuval@de.tuv.com

Figura I.2 – Certificações do inversor de frequência CFW-11. Normas bases para teste EN 61800-5-2:2007, EN 50178:1997, EN ISO 13849-1+AC:2009, IEC 60204-1:2005, IEC 61508-1-7:2010, IEC 62061:2005 e diretiva EC Directive 2006/42/EC .

Certificate

PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. grants to

WEG Automation S/A
Av. Prefeito Waldemar Grubba, 3000; 89256-900 Jaragua do Sul, Brazil

the Certificate No.: **Z01393** for the PROFIBUS Slave:

Model Name:	**CFW-11**
Revision:	**01; SW/FW: V2.0x; HW: R02**
GSD:	**WEG0BE6.gsd**

This certificate confirms that the product has successfully passed the certification tests with the following scope:

☑ DP-V0	MS0, Sync, Freeze, Fail_Safe
☑ DP-V1	MS1, MS2, I&M
☑ Physical Layer	RS485

Test Report Number: **itm 342 DP 01/01**
Authorized Test Laboratory: **itm, München, Germany**

The tests were executed in accordance with the following documents:
"Test Specifications for PROFIBUS DP Slaves, Version 3.0 from November 2005".
This certificate is granted according to the document "Framework for testing and certification of PROFIBUS products".
For all products that are placed in circulation by December 02, 2011 the certificate is valid for life.

(Official in Charge)

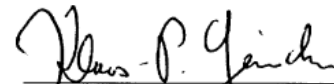
Board of PROFIBUS Nutzerorganisation e. V.

(J. Freitag) (K.-P. Lindner)

Figura I.3 – Certificações de conformidade PROFBUS da camada física RS485.

ONLINE CERTIFICATIONS DIRECTORY

NMMS.E184430
Power Conversion Equipment

Page Bottom

Power Conversion Equipment

See General Information for Power Conversion Equipment

WEG DRIVES & CONTROLS - AUTOMACAO LTDA E184430
AV PREFEITO WALDEMAR GRUBBA 3000
VILA LALAU
89256-900 JARAGUA DO SUL, SC BRAZIL

Investigated to ANSI/UL 508C

Accessory communication modules Model(s) Accessory FLASH memory MMF-02., CAN-01, CAN/RS485-01, PLC11-01, PROFIBUSDP-01, RS232-01, RS232-02, RS485-01

Power conversion equipment, "CFW 11 Drive Series" Model(s) CFW 11, followed by 0002, 0003, 0004, 0005, 0006, 0007, 0010, 0012, 0013, 0016, 0017, 0022, 0024, 0027, 0028, 0031, 0032, 0033, 0038, 0044, 0045, 0053, 0054, 0058, 0063, 0070, 0080, 0086, 0088, 0105, 0107, 0125, 0142, 0150, 0180 or 0211, followed by S, B or T, followed by 2, or 4, 5 or 6, followed by S or O, may be followed by N1 or 21, may be followed by FA, may be followed by Y, may be followed by W, followed by Z. All models may include a two-digit prefix (such as BR, US, CA, EU) denoting manual language and factory settings

Power conversion equipment, "CFW 11M Drive Series" Model(s) CFW 11M, followed by 0427, 0470, 0600, 0811, 0893, 1140, 1217, 1340, 1622, 1710, 1786, 2028, 2232, 2280 or 2850, followed by T, followed by 4, 5 or 6, followed by S or O, may be followed by IC, may be followed by Y, followed by Z. All models may include a two-digit prefix (such as BR, US, CA, EU) denoting manual language and factory settings.

Power conversion equipment Model(s) CFW 11 drive series .Models CFW 11, followed by 0170, 0216, 0242, 0289, 0312, 0315, 0365, 0370, 0435, 0477, 0515, 0601, 0720, followed by T, followed by 4 or 6, followed by S or O, may be followed by N1 or 21, may be followed by IC, may be followed by Y, may be followed by W, followed by Z. All models may include a two-digit prefix (such as BR, NA, EU, SA, MS) denoting manual language and factory settings. Accessory I/O expansion model IOx-Oy where x is a character and y is a digit. Accessory encoder ENC-01 and ENC-02. Accessory communication modules RS485-01, RS232-0x, CAN/RS485-01, CAN-01, PROFIBUSDP-01 and PLC11-0x where x is a digit. Accessory - Type 1 Conversion Kits KN1F-01 and KN1G-01

Figura I.4 – Cabeçalho e partes do documento emitidos pela empresa certificadora UL.